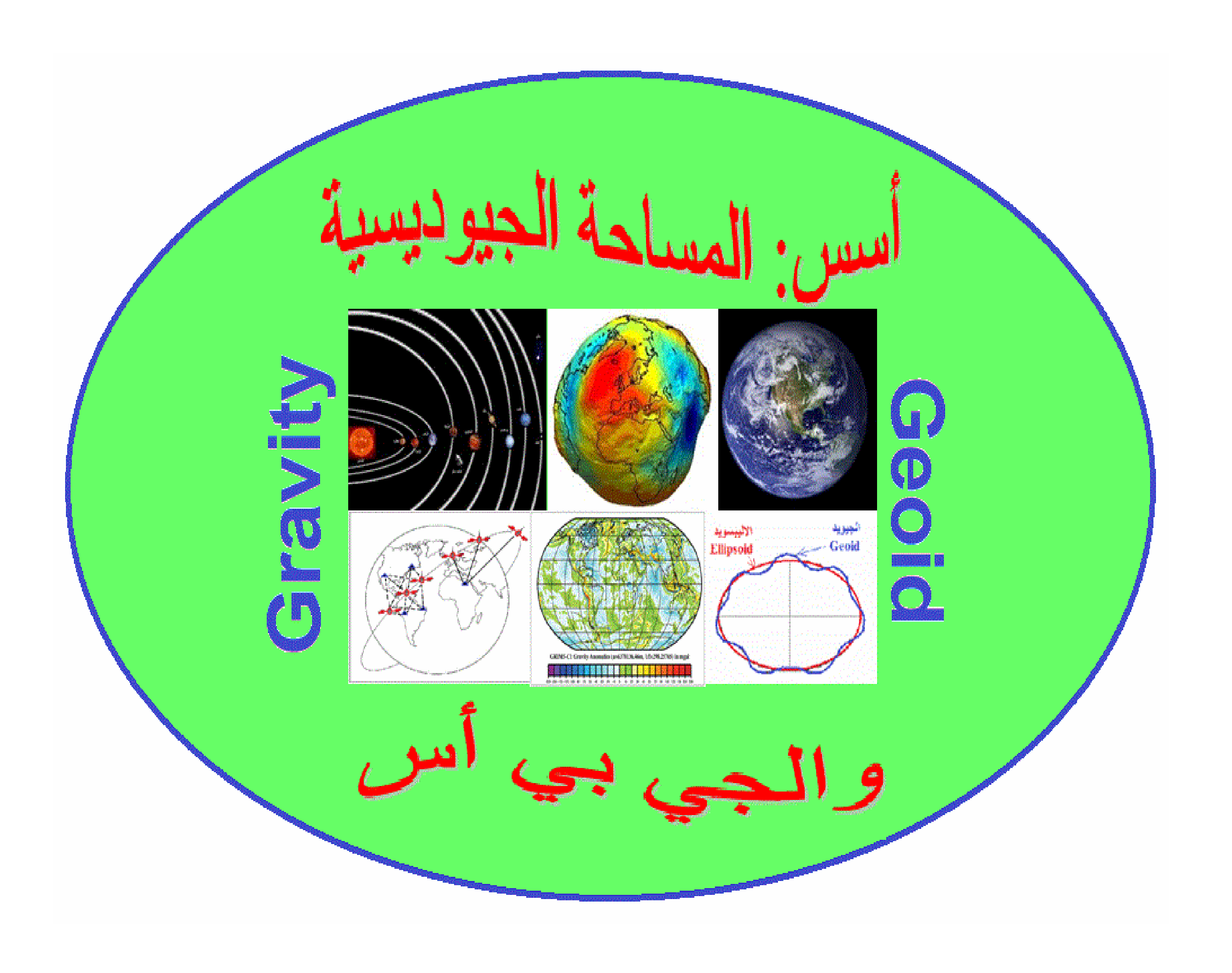


د. جمعة محمد داود

١٤٣٣ هـ / ٢٠١٢ م

أسس

المساحة الجيوديسية والجي بي أس

Principles of

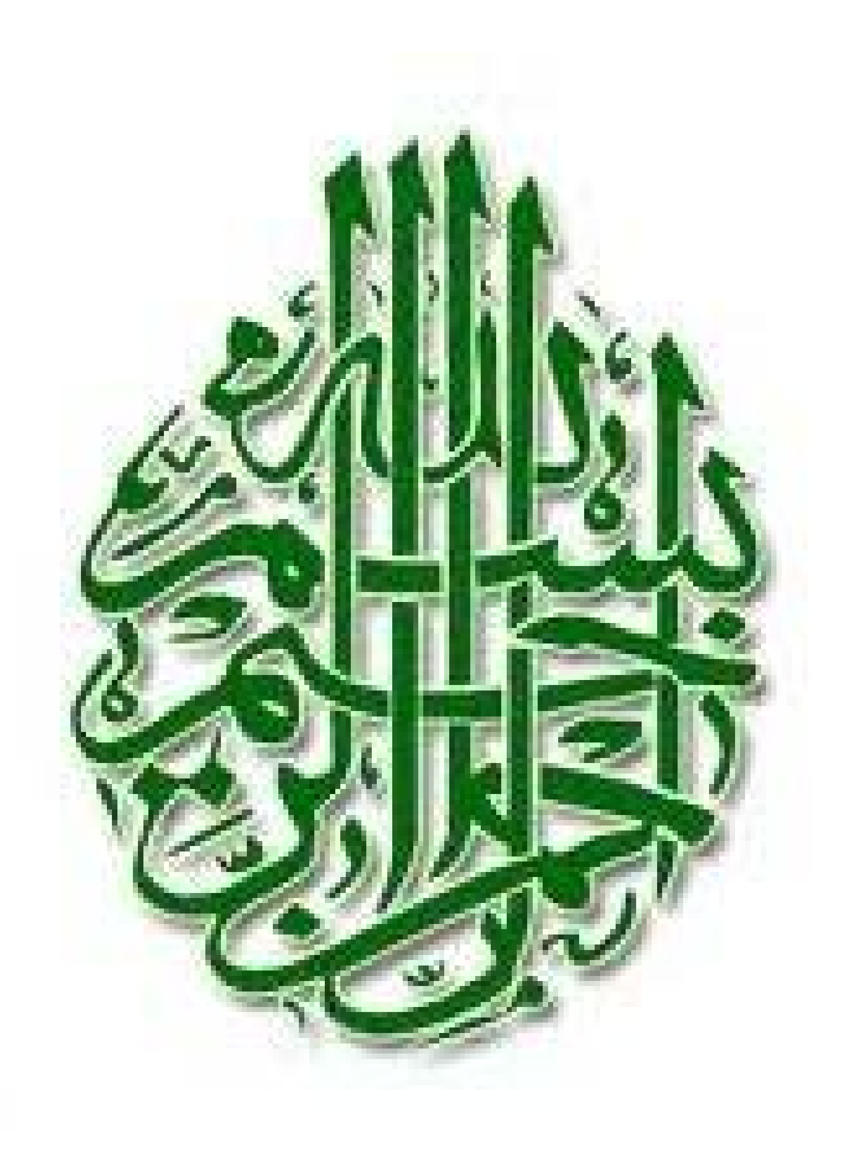
Geodetic Surveys and GPS

د. جمعة محمد داود

Gomaa M. Dawod

النسخة الأولي

١٤٣٣ هـ / ٢٠١٢م


بسم الله الرحمن الرحيم



اتفاقية الاستخدام

للإشارة إلي هذا الكتاب - كمرجع – برجاء إتباع النموذج التالي:

باللغة العربية:
داود ، جمعة محمد ، ٢٠١٢م ، أسس المساحة الجيوديسية والجي بي أس، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية.

باللغة الانجليزية:
Dawod, Gomaa M., 2012, Principles of Geodetic Surveys and GPS (in Arabic), Holly Makkah, Saudi Arabia.

مقدمة النسخة الأولي

بسم الله الرحمن الرحيم و الحمد لله العليم القدير الذي وهبني علما ووفقني في حياتي ، والصلاة والسلام علي معلم الأمم و خير البرية محمد بن عبد الله عليه الصلاة و السلام.

أدعو و أبتهل إلي مولاي و خالقي عز و جل أن يتقبل مني هذا العمل لوجهه الكريم فما أردت إلا إرضاؤه تعالي وتحقيقا لقول رسوله الكريم أن عمل ابن ادم ينقطع بعد موته إلا من ثلاث أحدهم: علم ينتفع به.

أردت أن أقدم عملا باللغة العربية عن **المبادئ والمفاهيم الأساسية لفرع الهندسة المساحية المتعلق بالمساحة الجيوديسية وتقنية الجي بي أس** بما يناسب طلاب المرحلة الجامعية ، كان الدافع الرئيسي للعمل الحالي هو حاجة الكثير من الطلاب بل والخريجين أيضا ممن يعملون بتقنية الجي بي أس لفهم أسس ومبادئ علم الجيوديسيا الذي يعد أساس استخدام هذه التقنية. فقد وجدت الكثيرون في المنتديات علي الانترنت يسألونني عدة أسئلة وان كانت تبدو تقنية إلا أن جوهرها يكمن في فهم أساسيات الجيوديسيا. لكن لا يمكن شرح وتعليم كل أفرع علم الجيوديسيا في كتاب واحد فاكتفيت بأساسياتها فقط. وربما إن وهبني الله عز و جل عمرا و صحة أن أكمل هذا العمل في كتب آخري أكثر تعمقا لهذه التخصص.

كما أود أن أشير إلي تجاربي السابقة لتأليف ثلاثة كتب باللغة العربية عن تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع (الجي بي أس) وكتاب مبادئ علم المساحة وكتاب الخرائط الرقمية وهم موجودين مجانا في عدد كبير من مواقع الانترنت.

أدعو كل قارئ و كل مستفيد من هذا الكتاب أن يدعو الله تبارك و تعالي أن يغفر لي و لوالدي ، وأيضا ألا يحرمني من رأيه و تعليقاته وتصويباته - فلا يوجد كتاب إلا و به نواقص و أخطاء - سواء عبر البريد الالكتروني أو عبر منتدى الهندسة المساحية في:

http://surveying.ahlamontada.com/

بسم الله الرحمن الرحيم ..... **وقل ربي زدني علما** .... صدق الله العظيم.

جمعة محمد داود
dawod_gomaa@yahoo.com

مكة المكرمة: رمضان ١٤٣٣ هـ الموافق أغسطس ٢٠١٢ م

إهداء

إلي روح والدي رحمهما الله و أسكنهما فسيح جناته .....

....

إلي روح أستاذي في المدرسة الابتدائية / محمود مصطفي أول من علمني حب القراءة و حب التعلم .... رحمه الله و أسكنه فسيح جناته

....

إلي كل أساتذتي الذين تشرفت بالتعلم علي أيديهم .... وأخص هنا:

روح الأستاذ الدكتور محمد محمد نصار رحمه الله وأسكنه فسيح جناته

الأستاذ الدكتور أحمد عبد الستار شاكر أطال الله عمره ومتعه بالصحة.

فمن نبع هذين الجبلين شربت ومن خبراتهما تعلمت حب المساحة

....

إلي زوجتي و شريكة عمري د. هدي فيصل محمد

إلي ابنتي الحبيبة و قرة عيني ..... ***سلمي*** ....

....

وأخيرا (إن كان يصح لي أن أتجاوز قدري):

إلي ***مكة المكرمة*** التي شرفني خالقي بالعيش في رحابها لعدة سنوات .....

المحتويات

المحتويات

المحتويات

المحتويات

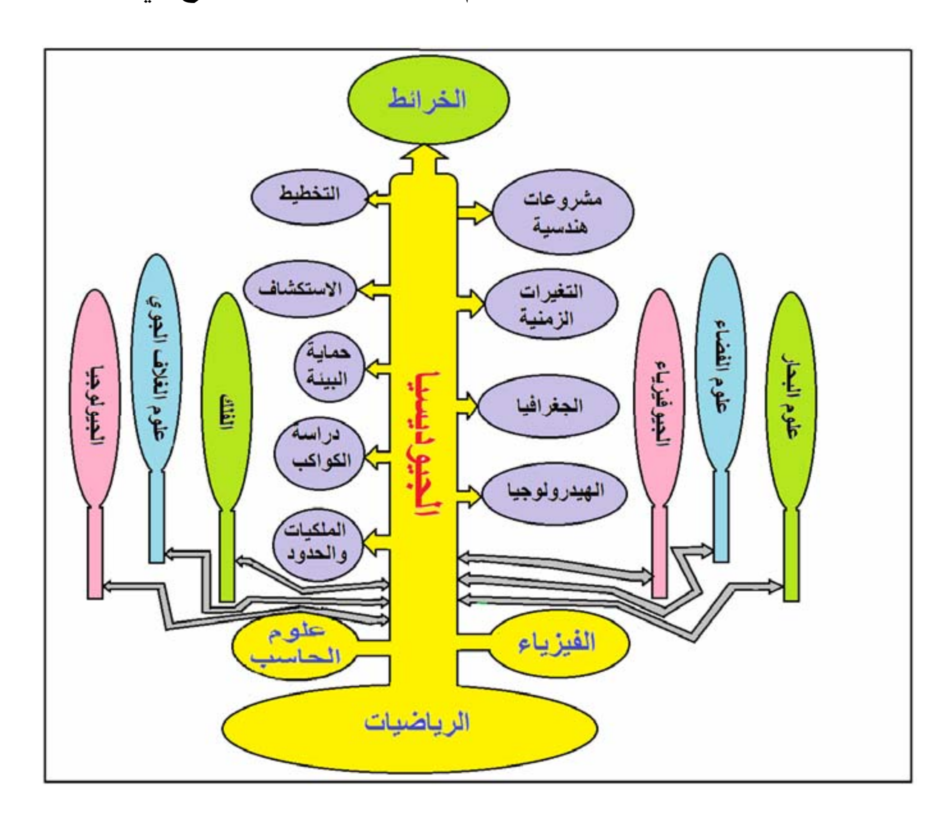
الفصل الأول

علم الجيوديسيا

كلمة الجيوديسيا Geodesy هي كلمة لاتينية مكونة من مقطعين: جيو Geo بمعني الأرض و ديسيا Desy بمعني القياس ورسم الخرائط، وبالتالي فأن الترجمة الحرفية لمصطلح "جيوديسيا" أنه علم القياس ورسم الخرائط لسطح الأرض.

مازال هذا التعريف البسيط ساريا حتى الآن مع أن الجيوديسيا أصبحت تتعلق بعدة أنواع من القياسات، فحيث أن سطح الأرض يتكون من الماء و اليابسة فأن الجيوديسيا تهتم بالقياس علي سطح الأرض اليابسة وأيضا بالقياس في أعماق البحار و المحيطات. أيضا الأرض في حد ذاتها كوكب متحرك في إطار المجموعة الشمسية، مما ينتج عن حركتها قوي جاذبية بينها و بين الكواكب الأخرى وهذه القوي تؤثر في القياسات علي الأرض مما يستلزم أن يمتد علم الجيوديسيا ليدرس أيضا قوة الجاذبية و تأثيراتها. بل أن الجيوديسيا – في السنوات الأخيرة – أصبحت تهتم أيضا بالقياس علي أسطح الأجرام السماوية الأخرى مثل القمر ليضاف إليها فرع جديد يسمي جيوديسيا الأجرام السماوية. مع انطلاق عصر الأقمار الصناعية في سبعينات القرن العشرين الميلادي واستخدامها في القياسات الجيوديسية فقد نتج عن ذلك فرع آخر من فروع الجيوديسيا وهو جيوديسيا الأقمار الصناعية.

يصنف علم الجيوديسيا في قائمة علوم الأرض Geo-Sciences كما أنه يصنف أيضا في قائمة العلوم الهندسية لتطبيقاته المتعددة في أعمال الهندسة المدنية و إنشاء المشروعات. ويرتبط علم الجيوديسيا ارتباطا وثيقا بعدد كبير من العلوم الأخرى كما هو موضح في الشكل التالي.



شكل (١-١) العلاقة بين علم الجيوديسيا والعلوم الأخرى

١-١ الجيوديسيا و المساحة

يتساءل الكثيرون عن العلاقة بين علم المساحة و علم الجيوديسيا، فكلاهما في تعريفة البسيط هو علم القياس وإنتاج الخرائط علي سطح الأرض. يري البعض أن المساحة هي جزء أو فرع من فروع علم الجيوديسيا. فعلم الجيوديسيا ينظر إلي كوكب الأرض بكامله أو علي الأقل لأجزاء كبيرة منه (قارة أو دولة) ويضع القوانين الرياضية و المعادلات التي تعتمد علي القياس علي الشكل الكامل أو الحقيقي لهذه الأرض. بينما علم المساحة يتعامل – غالبا – مع أجزاء صغيرة من الأرض بحيث من الممكن منطقيا أن نري هذا الجزء البسيط كأنه مستوي وليس كوكبا مجسما وبالتالي يتم تبسيط المعادلات الرياضية و طرق الحساب. ومن هنا يمكننا القول أن المساحة هي تبسيط لطرق القياس في جزء صغير من الأرض بدلا من الطرق و النظريات الجيوديسية التي تتعامل مع مجسم الأرض كله. بينما يري البعض الآخر أن علم المساحة (القياس في مساحة صغيرة من الأرض) قد عرفته البشرية أولا ثم تلاه ظهور علم الجيوديسيا لاحقا (القياس في مساحة كبيرة من الأرض) حيث يمكن القول أن المساحة الجيوديسية هي أحد أفرع علم المساحة. وكلا الرأيين جدير بالاحترام طالما كانت الفروق النظرية و الرياضية واضحة عند تطبيق كلا من المساحة و الجيوديسيا.

قديما كانت الفروق واضحة بين أجهزة الرصد المساحية و أجهزة الرصد الجيوديسية. فعلي سبي المثال كانت هناك أجهزة الثيودليت (أجهزة قياس الزوايا) المخصصة للعمل المساحي لعدة كيلومترات وأجهزة ثيودليت أخري مخصصة للعمل الجيوديسي الذي يصل مداه لعدة عشرات من الكيلومترات. حديثا زاد انتشار تطبيقات التقنيات التي تعتمد علي الأقمار الصناعية في القياس علي سطح الأرض وخاصة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف باسم الجي بي أس. هذه التقنيات (أو الأجهزة) تستطيع القياس علي سطح الأرض لمسافات صغيرة جدا (عدة أمتار) أو لمسافات كبيرة جدا (عدة آلاف من الكيلومترات)، أي أنها تصلح للعمل المساحي و للعمل الجيوديسي أيضا. من هنا أصبح هناك كثير من المستخدمين يتعاملون مع هذه التقنيات باعتبارها تقنيات مساحية مع أنهم في أحيان كثيرة يقومون بقياسات جيوديسية دون أن يدروا ذلك! الفرق بين القياسات المساحية و القياسات الجيوديسية يكون في مساحة منطقة الدراسة، فان كان المنطقة صغيرة (أقل من ٥٠ كيلومتر مربع) فيكون الافتراض الأساسي للمساحة مازال منطقيا ومن الممكن أن نعتبر أننا نقيس علي سطح مستوي. أما إن كانت منطقة الدراسة أو المشروع أكبر من هذه القيمة فنحن ننتقل من علم المساحة و نظرياته و معادلاته إلي علم الجيوديسيا و نظرياته و معادلاته. إن لم يكن المستخدم مدركا لهذه الحقيقية فسيقع في مشاكل تقنية تؤثر بشدة علي النتائج النهائية للمشروع (القياسات و الخرائط). من هنا أصبح لزاما علي كل مساح أو مهندس مساحة (خاصة من يتعامل مع أجهزة الرصد بالأقمار الصناعية مثل تقنية الجي بي أس) أن يعرف و يدرس أساسيات ونظريات علم الجيوديسيا حتى يستطيع أن يصل للدقة المطلوبة لمشروعه.

أيضا فأن دراسة أنواع الارتفاعات يعد من أهم مبادئ الجيوديسيا التي يجب علي مهندس أو أخصائي المساحة أن يلم بها. فعلي سبيل المثال فأن تقنية الجي بي أس تعطي نوع من الارتفاعات يسمي الارتفاعات الجيوديسية أي قياس ارتفاع النقطة المرصودة عن السطح الرياضي الذي يمثل كوكب الأرض. بينما في المساحة التقليدية والمشروعات المدنية والخرائط الطبوغرافية فأننا نتعامل مع المنسوب وهو ارتفاع النقطة المرصودة عن مستوي سطح البحر. أي أن هناك نوعين مختلفين من الارتفاعات، وبالتالي يجب أن يعرف مهندس المساحة هذه الحقيقية ويعرف أسس و طرق التحويل بينهما. فان لم يعرف ذلك فأنه سيعتمد الارتفاع الناتج من تقنية الجي بي أس كأنه هو المنسوب مما ينتج عنه أخطاء قد تصل إلي عدة أمتار.

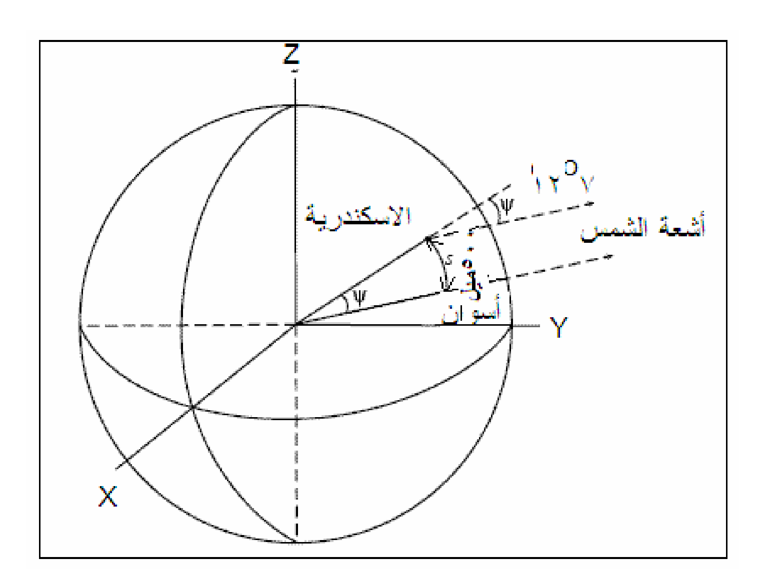
يري المؤلف أن أهمية دراسة أساسيات علم الجيوديسيا قد زادت في السنوات الحديثة مع انتشار تطبيقات و استخدامات تقنية الجي بي أس (أحد تقنيات تحديد المواقع أو الإحداثيات بالرصد علي الأقمار الصناعية) في مشروعات الهندسة المدنية والتخطيط والمشروعات البيئية. معظم البرامج التجارية للحساب software التي تأتي مع أجهزة الجي بي أس بها وظيفة تندرج تحت اسم الحساب الآلي Auto Run وهي وظيفة موجهه في الأساس للمستخدم المبتدئ لتسهل عليه إجراء الحسابات المبدئية باستخدام قيم معينة لعناصر الحساب (يفترضها البرنامج). في الخطوة التالية يجب علي هذا المستخدم أن يفحص نتائج هذه الحسابات المبدئية ليقوم باختيار الأنسب و الأفضل لقيم عناصر الحساب ليحصل علي دقة أفضل للنتائج. لكن للأسف الشديد فأن الكثير من المستخدمين (خاصة في الدول العربية) لا يمتلك الخبرة و الأسس الجيوديسية لكي يستطيع أن يقيم النتائج المبدئية ويقوم بتحسينها، وبالتالي يعتمدوا هذه النتائج كإحداثيات نهائية للمشروع مع أن دقتها غالبا لا تكون عالية. لا ينسي المؤلف أبدا ذلك المثل الذي علمه إياه أستاذه "د. ريتشارد راب" في جامعة أوهايو الأمريكية وهو: Garbage In Garbage Out بمعني أن الكمبيوتر إن قدمنا له قمامة فان الناتج سيكون قمامة أيضا! مما يدلل علي أهمية أن يتدخل المستخدم في طريقة و عناصر الحساب – بناءا علي خبرته و فهمه لأسس علم الجيوديسيا – ليضمن الحصول علي نتائج أفضل و دقة أحسن للأرصاد أو القياسات التي قام بها.

١-٢ تاريخ علم الجيوديسيا

منذ أن خلق الله سبحانه و تعالي الإنسان وأنزله إلي الأرض كان التنقل من مكان إلي آخر والتعرف علي مواقع جديدة غريزة داخل النفس البشرية ، ومن هنا بدأت حاجة البشر لوسائل تمكنهم من السفر و الترحال بأمان دون أن يتيهوا في الصحراء و البيئة المحيطة. تمكن الإنسان في البداية أن يتخذ بعض الأماكن و الأجسام الأرضية الخاصة – مثل الجبال – كعلامات تمكنه من معرفة طريقه بالإضافة إلي مساعدة نهارية من الشمس و الظل ، وبالتالي أستطاع أن يسافر لعدة كيلومترات ويعود لموقعه الأصلي مرة أخري. ومن ذلك الوقت ظهر في القاموس البشري مصطلح جديد ألا و هو الملاحة Navigation وهي العملية التي بواسطتها يتنقل الإنسان بين موقعين والتي تساعده في معرفة موقعه في أي وقت. وفي المرحلة الثانية من المعرفة البشرية بدأ الاعتماد علي النجوم كعلامات مرجعية تمكن الإنسان من معرفة موقعه و اتجاهه أثناء السفر ليلا ، ومن ثم بدأ علم الفلك Astronomy . وعرفت الحضارات القديمة إقامة الفنارات Lighthouses منذ حوالي ألفي عام – و أشهرهم فنار الإسكندرية في مصر و فنار جزيرة رودس اليونانية - كعلامات ملاحية تعكس الضوء سواء ضوء الشمس نهارا أو ضوء مصدر آخر ليلا لإرشاد السفن المبحرة في البحار. لاحقا بدأ الإنسان في تسجيل ملاحظاته الملاحية والطرق التي يسير فيها ومواقع تحركاته المتعددة في البيئة المحيطة به علي قطع من الورق (ورق البردي في الحضارة المصرية القديمة كمثال) لتظهر للوجود "الخرائط" Maps. وبالتزامن مع ظهور الخرائط بدأ ظهور علم المساحة Surveying وهو علم تحديد المواقع – بأبعاد ثلاثة – للمعالم الطبيعية و البشرية علي أو تحت سطح الأرض. وتعد مصر أول من استخدم علم المساحة بصورة موسعة منذ حوالي ١٤٠٠ عام قبل الميلاد وذلك في تحديد الملكيات الزراعية وحساب الضرائب المستحقة عليها. وفي المرحلة العلمية التالية تطور علم جديد ليكون أكثر تخصصا وتعمقا في عملية تحديد المواقع ألا و هو علم الجيوديسيا (أو الجيوديزيا).

بدأت المعرفة البشرية لتكوين فكرة عن شكل كوكب الأرض بأن الأرض عبارة عن قرص يطفو فوق سطح الماء. ومن العلماء والفلاسفة الأوائل الذين قالوا بذلك كلا من فيثاغورث (٥٨٠-٥٠٠ قبل الميلاد) و أرسطو (٣٨٤-٣٢٢ قبل الميلاد)، واستمرت هذه النظرية سارية لعدة قرون.

من أولي بدايات التفكير الإنساني العلمي و التجريبي في معرفة شكل و حجم الأرض تلك التجربة الرائدة التي قام بها العالم الإغريقي أراتوستين Eratosthenes (٢٧٦-١٩٦ ق.م) والذي كان يشغل منصب أمين مكتبة الإسكندرية التي كانت تعتبر أرقي معهد علمي في العالم في ذلك الوقت. لاحظ أراتوستين أن الشمس قي يوم ٢١ يونيو (حزيران) من كل عام تكون مرئية في مياه بئر بمدينة أسوان ، أي أنها تكون عمودية تماما في هذا الموقع ، وبعد ذلك أفترض أن الإسكندرية تقع إلي الشمال مباشرة من أسوان. ثم قام بقياس زاوية ميل أشعة الشمس عند الإسكندرية ووجدها ٧.٢ درجة ، وقدر أن هذا الجزء – بين الإسكندرية و أسوان – يعادل ١/٥٠ من الدائرة التي تمثل الأرض (شكل ١-٢). وبعد ذلك قام بقياس المسافة بين كلا المدينتين فكانت حوالي ٥٠٠٠ استاديا (وحدة قياس المسافات في ذلك الوقت) أي ما يعادل ٥٠٠ ميل أو ٨٠٠ كيلومتر، ومن ثم تمكن هذا العالم من حساب محيط الأرض (٥٠ ضعف المسافة المقاسة بين أسوان و الإسكندرية) ليكون في تقديره حوالي ٢٥٠٠٠ ميلا. ومن المذهل أن نعرف أن هذه التجربة الجيوديسية في ذلك الزمن البعيد و باستخدام آلات بدائية لم تكن بعيدة إلا قليلا عن طول محيط الأرض الذي نعرفه اليوم وهو ٢٤٩٠١ ميلا.



شكل (١-٢) تجربة العالم أراتوستين لتقدير محيط الأرض

استمرت نظرية أن الأرض كروية الشكل (لها نصف قطر ثابت في جميع الاتجاهات) عشرات القرون حتى القرن السابع عشر الميلادي حينما طور اسحق نيوتن (١٦٤٣-١٧٢٧) نظرية تفلطح شكل الأرض، أي أن الأرض شبه كروية مفلطحة قليلا عن القطبين الشمالي و الجنوبي وليست كروية تماما.

١-٣ تطبيقات علم الجيوديسيا

يصنف بعض العلماء علم المساحة على أنه التطبيق العملي لعلم الجيوديسيا لتحديد المواقع (الإحداثيات) اللازمة لإنشاء الخرائط. إلا أن دور الجيوديسيا في التطبيقات الهندسية لا ينحصر فقط في إنشاء الخرائط وخاصة في العقود الماضية حيث تستخدم الجيوديسيا في العديد من المجالات منها:

- إنشاء الخرائط: أول الأعمال المطلوبة لإنشاء الخرائط هو إقامة شبكة مثلثات جيوديسية مكونة من عدد من المحطات الجيوديسية وتحديد إحداثياتها الأفقية والرأسية.
- المساحة الجوية والاستشعار عن بعد: تستخدم الطرق الجيوديسية في تحديد إحداثيات نقط التحكم الأساسية التي تلعب الدور الأساسي في الحصول على خرائط وبيانات مساحية من تقنيات التصوير الجوى والأقمار الصناعية المخصصة لدراسة الموارد الطبيعية.
- المشروعات الهندسية: عند إقامة أية مشروعات هندسية (مثل الطرق ، الكباري ، السدود ، الترع ، المصانع ... الخ) فانه من الضروري تحديد مواقعها بدقة عن طريق تحديد إحداثيات العناصر المختلفة للمشروع. وتستخدم هذه الإحداثيات في التخطيط للمشروع وكذلك في متابعة التنفيذ طوال مراحل المشروع.
- نظم المعلومات الجغرافية: الإحداثيات الجيوديسية هي العامل المشترك الأساسي الذي يمكن من خلاله الربط بين المصادر المختلفة للمعلومات لإنشاء نظم المعلومات الجغرافية.
- الملاحة الجوية والبحرية: تعتمد الطائرات والسفن على الإحداثيات الجيوديسية للوصول إلى الهدف طبقا لخط السير المحدد.
- التخطيط العمراني : تساعد الجيوديسيا في تعيين الإحداثيات اللازمة لأعمال التخطيط العمراني والبحث عن المصادر والثروات الطبيعية .
- تعيين الحدود: تلعب الجيوديسيا الدور الأساسي في تحديد وتوثيق إحداثيات العلامات الحدودية بين الدول أو الحدود الإدارية بين المحافظات داخل الدولة.
- دراسة تحركات القشرة الأرضية: تستخدم الأرصاد الجيوديسية المتكررة في الحصول على قيم دقيقة لتحركات القشرة الأرضية في المناطق الغير مستقرة ديناميكيا (مناطق الفوالق تحت سطح الأرض المسببة للزلازل) وخاصة حول المنشئات الهندسية الضخمة كالسدود والخزانات.
- علوم البيئة : تلعب الجيوديسيا دورا مؤثرا في دراسة المتغيرات البيئية عن طريق تحديد إحداثيات المناطق ذات التغير المستمر في التركيب البيئى.
- علوم الفضاء: تحديد إحداثيات محطات إطلاق المركبات الفضائية وكذلك إحداثيات الأقمار الصناعية في الفضاء طبقا لمدارها المحدد.
- دراسة البحار: تستخدم الأرصاد الجيوديسية في تحديد معدلات ارتفاع سطح البحار لتجنب غرق المناطق الساحلية .
- الجيولوجيا: يعتمد علم الجيولوجيا على الاحداثيات الجيوديسية لإعداد الخرائط الجيولوجية.

١-٤ أقسام الجيوديسيا

توجد عدة تقسيمات أو تصنيفات لأفرع علم الجيوديسيا بناءا علي وجهة النظر في التقسيم ذاته.

فإذا قسمنا الجيوديسيا بناءا علي منطقة العمل أو حدود منطقة القياسات الجيوديسية فنجد ثلاثة أقسام:

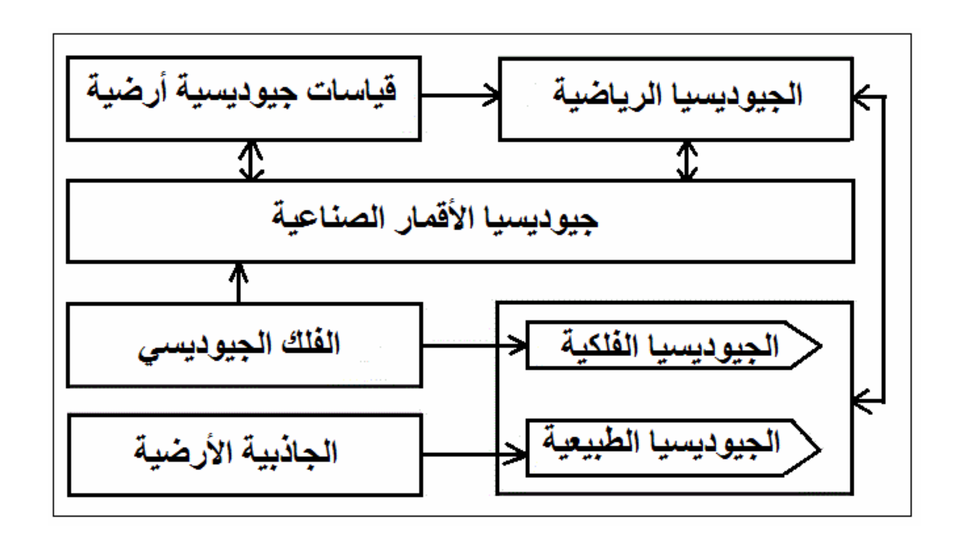
(أ) الجيوديسيا العالمية Global Geodesy
الفرع المسئول عن تحديد شكل و حجم ومجال جاذبية الأرض.

(ب) المساحة الجيوديسية الوطنية National Geodetic Surveys
الفرع المسئول عن تحديد شكل ومجال جاذبية دولة معينة، وذلك عن طريق إنشاء شبكات من العلامات (الثوابت) الأرضية المعلومة الإحداثيات و قيمة الجاذبية الأرضية لها. وفي هذا القسم من أقسام علم الجيوديسيا يجب أخذ كروية الأرض في الاعتبار و مالها من تأثيرات علي القياسات والأرصاد.

(ج) المساحة المستوية Plan Surveying
الفرع المسئول عن القياسات التفصيلية اللازمة للرفع التفصيلي و الرفع الطبوغرافي و الأعمال الهندسية لمساحة صغيرة من الأرض.

العلاقة قوية بين هذه الفروع الثلاثة لعلم الجيوديسيا فالجيوديسيا العالمية تحدد عناصر شكل و مجال جاذبية الأرض ككل، ومن ثم تبدأ الجيوديسيا الوطنية في اعتماد هذه القيم في عمل شبكات جيوديسية (ثوابت) لكل دولة ثم تبدأ المساحة المستوية في الاعتماد علي هذه الثوابت لقياس تفاصيل معالم سطح الأرض لإنتاج الخرائط.

أما من حيث طبيعة العمل (القياسات) الجيوديسية ذاتها فيمكن تقسيم علم الجيوديسيا إلي خمسة أقسام رئيسية وان كان لا توجد حدود فاصلة أو قطعية بين كل قسم و آخر (شكل ١-٣):



شكل (١-٣) أقسام الجيوديسيا الرئيسية

١- الجيوديسيا الأرضية أو الهندسية Terrestrial Geodesy:

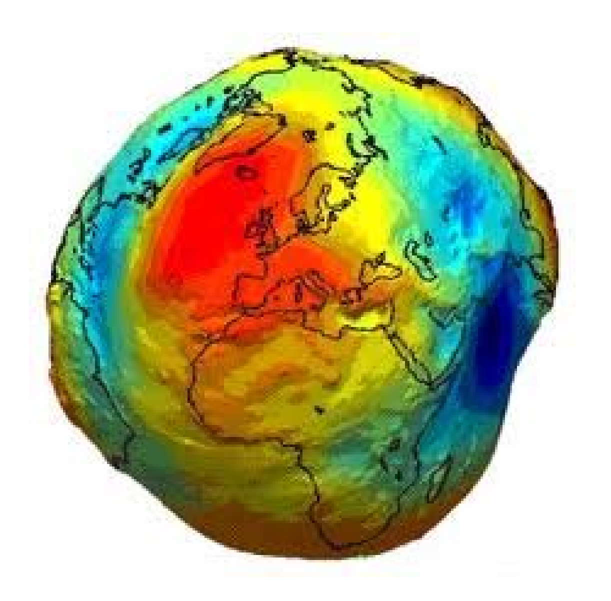
يتم فيها إجراء القياسات الجيوديسية (الزوايا الأفقية و الرأسية والمسافات و فروق المناسيب) بهدف إنشاء شبكات الثوابت الأرضية وحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (س،ص،ع) لكل نقطة منها لإنشاء الهيكل الجيوديسي للدولة الذي ستعتمد عليه جميع أعمال المساحة و إنشاء الخرائط.



شكل (١-٤) جهاز الثيودليت الشهير Wild T2 للقياسات الأرضية

٢- الجيوديسيا الطبيعية أو الفيزيقية Physical Geodesy:

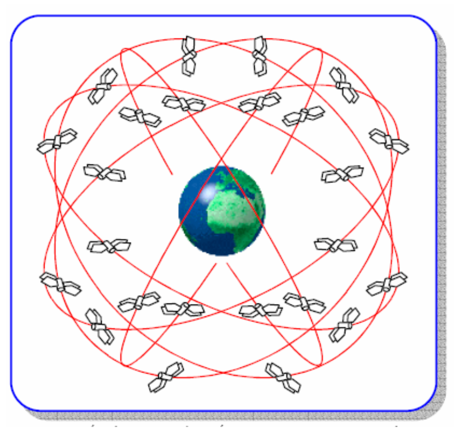
يتم فيها قياس و تحديد مجال الجاذبية الأرضية ومن ثم تحديد تأثيرها علي القياسات الجيوديسية وأيضا تحديد الشكل الحقيقي للأرض (الجيويد) وعلاقته بالشكل الهندسي المستخدم في إنشاء الخرائط (الاليبسويد). تتم هذه العمليات إما باستخدام أرصاد الجاذبية الأرضية أو باستخدام الأرصاد الفلكية أو حديثا باستخدام القياسات علي الأقمار الصناعية.



شكل (١-٥) الشكل الحقيقي للأرض (الجيويد)

٣- جيوديسيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy:

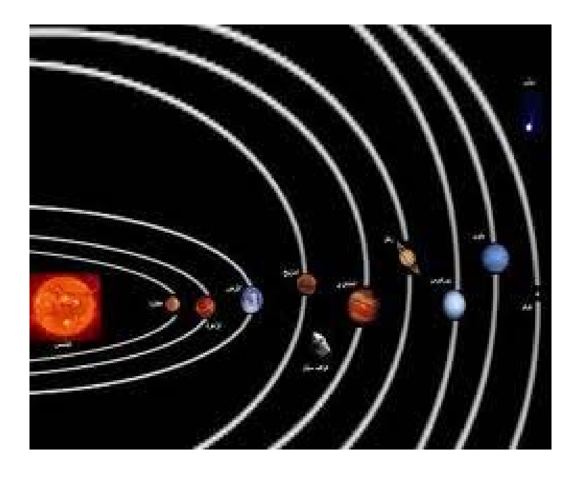
تشمل الأرصاد و القياسات الجيوديسية المعتمدة علي الأقمار الصناعية التي بدأت في الظهور منذ عام ١٩٥٧م. تستخدم تطبيقات جيوديسيا الأقمار الصناعية في الجيوديسيا الهندسية وأيضا الجيوديسيا الطبيعية و الفلكية.



شكل (١-٦) استخدام الأقمار الصناعية في تحديد المواقع

٤- الجيوديسيا الفلكية Astronomical Geodesy:

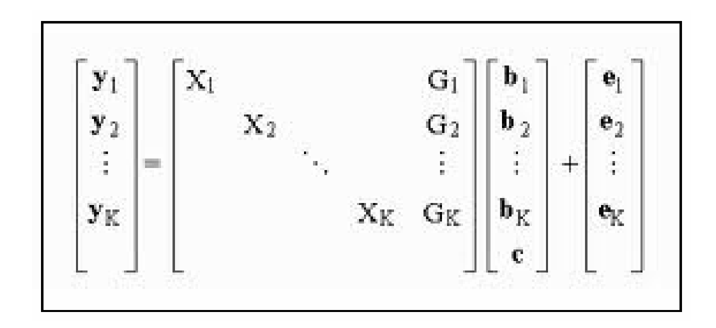
يتم فيها قياس الإحداثيات الفلكية (خط الطول الفلكي و دائرة العرض الفلكية) لنقاط شبكات الثوابت الأرضية بالإضافة للانحراف الفلكي لخطوط شبكات الثوابت الأرضية للدولة من خلال الرصد علي النجوم. يعد هذا النوع من أقسام الجيوديسيا من أقدم الأنواع الجيوديسية وكان مهم جدا في الماضي لتوجيه الشبكات الجيوديسية وتحديد موقعها بدقة علي سطح الأرض، وان كان الاعتماد علي الأرصاد الفلكية قد قل كثيرا في الوقت الراهن بعد انتشار تطبيقات الرصد علي الأقمار الصناعية.



شكل (١-٧) استخدام الرصد الفلكي في تحديد المواقع

٥- الجيوديسيا الرياضية Mathematical Geodesy:

فـرع الجيوديـسيا الـذي يهـتم بالنظريـات الرياضـية و المعـادلات و طـرق الحـسابات وتحليـل الأرصاد المستخدمة في كافة أفرع الجيوديسيا الأخرى.



شكل (١-٨) نموذج لمعادلات الجيوديسيا الرياضية

حديثا ظهرت مصطلحات أخري في الجيوديسيا مثل الجيوديسيا المتكاملة Intenerated Geodesy حيث يتم تطبيق عدة أقسام من الأقسام التقليدية لعلم الجيوديسيا في إطار واحد متكامل. أيضا يري البعض استبدال مسمي جيوديسيا الأقمار الصناعية بمسمي الجيوديسيا الفضائية Spatial Geodesy حيث لم تعد الأرصاد الجيوديسية قاصرة فقط علي الأقمار الصناعية بل امتدت إلي الرصد علي القمر الطبيعي و الكواكب الأخرى بل أيضا الرصد علي الأجرام السماوية خارج المجموعة الشمسية.



شكل (١-٩) نموذج لهوائي استقبال إشارات الأجرام السماوية

أما الأرصاد أو القياسات الجيوديسية ذاتها فيمكن أيضا تقسيمها إلي أربعة أنواع طبقا للهدف منها:

أ- الأرصاد الجيوديسية الأفقية أو ثنائية الأبعاد Horizontal 2D:

قياسات الزوايا الأفقية والرأسية والمسافات و الانحرافات التي تهدف إلي تحديد الموقع الأفقي (خط الطول و دائرة العرض) لنقاط الثوابت الأرضية. قديما ومع استخدام الأجهزة المساحية التقليدية (مثل جهاز الثيودليت) بإمكانياتها البسيطة كانت هذه النقاط تقام علي رؤوس الجبال و المرتفعات ليسهل رصد الزوايا علي مسافات كبيرة ولم يكن من السهل رصد فروق المناسيب

بين هذه النقاط المرتفعة، ومن هنا كانت شبكات الثوابت الجيوديسية شبكات أفقية فقط Two-Dimensional or 2D منفصلة عن الشبكات الجيوديسية الرأسية.

ب- الأرصاد الجيوديسية الرأسية أو أحادية البعد Vertical 1D :

قياسات فروق المناسيب بين مجموعة من النقاط التي تحدد البعد الثالث (المنسوب) لشبكة جيوديسية تغطي الدولة One-Dimensional or 1D. أي أن الشبكة الجيوديسية الرأسية (شبكة الروبيرات) كانت منفصلة عن الشبكة الجيوديسية الأفقية.

ج- الأرصاد الجيوديسية ثلاثية الأبعاد 3D:

مع دخول عصر جيوديسيا الأقمار الصناعية أصبح من الممكن تحديد الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع) Three-Dimensional or 3D مجموعة من النقاط التي تكون شبكة جيوديسية ثلاثية الأبعاد تغطي الدولة.

د- الأرصاد الجيوديسية رباعية الأبعاد (الجيوديسيا الديناميكية Dynamic 4D Geodesy):

حيث أن مجال جاذبية الأرض غير ثابت وأيضا بسبب حركة الصفائح الجيولوجية التي يتكون منها كوكب الأرض فأن إحداثيات أي نقطة لن تكون ثابتة مع مرور الزمن. تهتم الجيوديسيا الديناميكية برصد ودراسة التغير في الإحداثيات ثلاثية الأبعاد مع مرور الزمن (الذي يعد البعد الرابع) بحيث يتم تعريف إحداثيات أي نقطة جيوديسية (س،ص،ع) عند لحظة زمنية معينة وليست كإحداثيات مطلقة ثابتة Four-Dimensional or 4D.

الفصل الثاني

شكل الأرض والمراجع الجيوديسية ونظم الإحداثيات

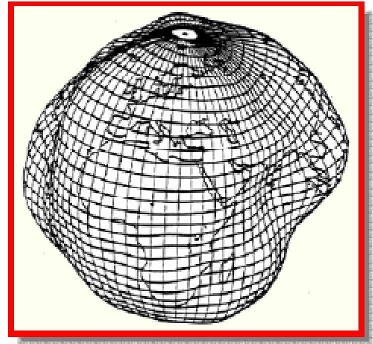
٢-١ مقدمة:

إن تحديد المواقع علي سطح الأرض يعني بداية أن نعرف ما هو الشكل الدقيق لهذا الكوكب الذي نعيش فوقه ، و ما هو المرجع الذي يمكننا أن نفترض أنه الأنسب لتمثيل الأرض رياضيا و خرائطيا. كما أن تحديد الموقع يكون من خلال قيم رياضية تعبر عنه وهي القيم التي نطلق عليها مصطلح "الإحداثيات Coordinates" علي اختلاف أنواعها و نظمها. لذلك يجب علي دارس الجيوديسيا أن يلم بأساسيات هذه الموضوعات الثلاثة ، وهو ما سنقوم بعرضه في هذا الفصل.

٢-٢ شكل الأرض:

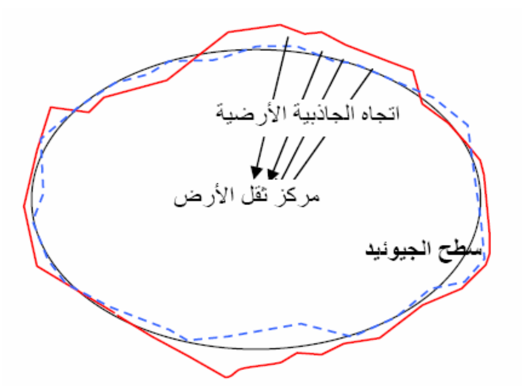
في بدايات المعرفة البشرية ظن الإنسان أن الأرض هي قرص صلب يطفو فوق سطح الماء ، إلي أن تطور التفكير العلمي للبشر قليلا وجاء العالم اليوناني فيثاغورث Pythagoras في القرن السادس قبل الميلاد وافترض أن الأرض كروية الشكل. وكانت أولي محاولات العلماء لتقدير حجم أو محيط هذه الكرة هي تجربة العالم الإغريقي أراتوستين التي سبق الإشارة إليها في الفصل الأول. وفي القرنين الخامس عشر و السادس عشر أيد كلا من الرحالة كولومبوس Columbus و ماجلان Magellan فكرة كروية الأرض من خلال رحلاتهما الشهيرة بالدوران حول الأرض. في عام ١٦٨٧ طور العالم الشهير نيوتن Newtown عدة مبادئ نظرية علمية وكان أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام ١٧٣٥ قامت أكاديمية العلوم الفرنسية بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمة للتأكد من هذه الفرضية وأثبتت النتائج فعلا أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما.

إننا نعيش علي سطح كوكب الأرض وعندما نريد أن نحدد أي موقع علي الأرض فنحن بحاجة إلي أن نقوم بتعريف هذا السطح – شكله و حجمه – لكي يمكننا من معرفة في أي مكان نحن نقع بالضبط. إن شكل السطح الطبيعي للأرض كما خلقه الله تعالي بما يضمه من قارات و محيطات و جبال و أودية و بحار ليس شكلا سهلا وليس منتظما لكي يمكن التعبير عنه بسهولة (شكل ٢-١).



شكل (٢-١) الأرض غير منتظمة الشكل

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيدا واهتدوا إلي فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات و البحار تشكل حوالي ٧٠% من مساحة الأرض فأن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية و المد و الجزر) Mean Sea Level والمعروف اختصارا بأحرف MSL، وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل علي شكل متكامل فأن هذا الشكل سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيويد أو الجيوئيد Geoid علي هذا الشكل الافتراضي [يجب ملاحظة أن هناك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL و الجيويد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتغاضي عن هذا الفرق و نعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيرا لنفس الجسم]. ولكن طبقا لمبدأ نيوتن السابق فأن شكل هذا الجيويد لن يكون منتظما لان سطح الجيويد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها ، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر علي سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة بشكل منتظم (يختلف سمك القشرة الأرضية من ٦ إلي ٦- كيلومتر) . وبذلك نخلص إلي أن الجيويد (شكل ٢-٢) هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا و يصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط و تحديد المواقع عليه.



شكل (٢-٢) الجيويد: الشكل الحقيقي للأرض

لتعقد الجيويد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية أتجه العلماء إلي البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة ووجدوا أن القطع الناقص أو الاليبس Ellipse هو الأقرب ، فإذا دار هذا الاليبس حول محوره فسينتج لنا مجسم القطع الناقص أو الاليبسويد أو الشكل البيضاوي Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution ويعرف أيضا باسم الاسفرويد Spheroid (لكن اسم الاليبسويد هو الأكثر انتشارا وهو الذي سنستخدمه في هذا الكتاب). ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: ما هو الفرق بين الاليبس و الدائرة أو بمعني آخر ما هو الفرق بين الاليبسويد و الكرة؟ بالنظر لشكل ٢-٣ نجد أن الاليبسويد مفلطح قليلا عند كلا القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الاستدارة تماما ، أيضا الكرة لها قطر و احد له نفس القيمة في جميع الاتجاهات بينما نجد الاليبسويد له محورين مختلفين. للتعبير عن الاليبسويد يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها):

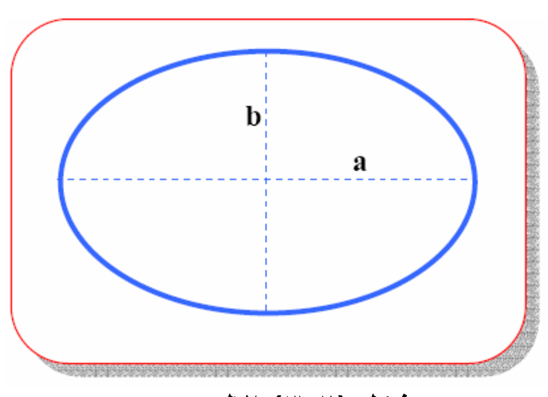
- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) ويرمز له بالرمز b

ويقوم البعض بالتعبير عن الاليبسويد بطريقة أخري من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a

- معامل التفلطح flattening ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

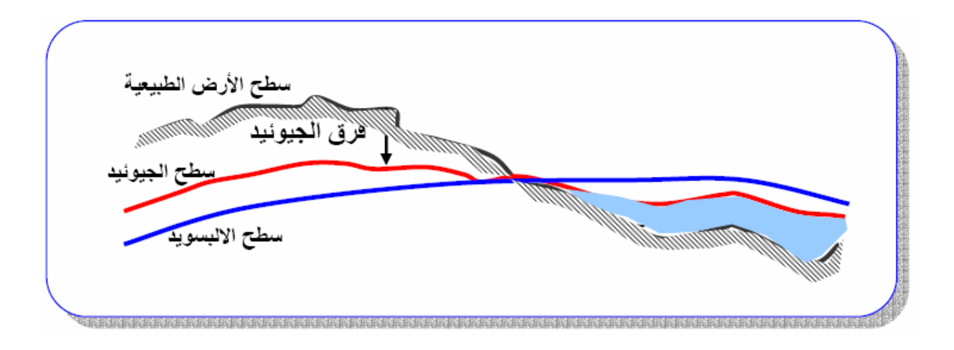
$$f = (a – b) / a \quad or \quad f = 1- (b / a) \qquad (2-1)$$



شكل (٢-٣) الاليبسويد

ويتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص مثل (شكل ٢-٤):

أ- سهولة إجراء الحسابات علي سطحه (حيث أنه شكل هندسي معروف).
ب- لا يختلف سطح الاليبسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدي ١٠٠ متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيويد و الكرة يصل إلي ٢١ كيلومتر تقريبا).



شكل (٢-٤) العلاقة بين الجيويد و الاليبسويد

٢-٣ المراجع:

لكي يمكن تحديد المواقع علي سطح الأرض يلزمنا اختيار شكل رياضي يعبر عن شكل و حجم الأرض ذاتها و هو ما نطلق عليه اسم الشكل المرجعي Reference Surface. أحد هذه الأشكال المرجعية من الممكن أن يكون الكرة والتي كانت مستخدمة لفترة طويلة لتحديد المواقع التي لا تتطلب دقة كبيرة ولرسم الخرائط التي لا يزيد مقياسها عن ١ : مليون. أيضا للمساحات الصغيرة جدا (أقل من ٥٠ كيلومتر مربع) من الممكن اعتبار المستوي Plane شكلا مرجعيا وخاصة في تطبيقات المساحة المستوية Plane Surveying. أما لتحديد المواقع بدقة عالية أو لرسم الخرائط الدقيقة فأن الاليبسويد هو الشكل المرجعي المستخدم.

طوال القرنين الأخيرين تعددت محاولات علماء الجيوديسيا لتحديد أنسب اليبسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صورة ممكنه. وكلما تجمعت قياسات جيوديسية جديدة لدي أحد العلماء أو الجهات الدولية تم حساب قيم جديدة لعناصر تعريف الاليبسويد (سواء a , b أو a , f) مما أدي لوجود العديد من نماذج الاليبسويد ، ويعرض الجدول ٢-١ بعضا من هذه النماذج.

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديسي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالبا ما تختار أحدث اليبسويد – في ذلك الوقت – لتتخذه السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدة سنوات اليبسويد آخر لم يكن ممكنا – لأسباب تقنية و مادية – أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها و إعادة إنتاج و طباعة كل خرائطها من جديد. لكن ما هو المرجع؟ من المعروف أن أي اليبسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض علي المستوي العالمي ، أي أن الفروق بينه وبين الجيويد تختلف من مكان لمكان علي سطح الأرض لكنها أقل ما يمكن علي المستوي العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد اليبسويد معين تريد أن يكون الفرق بينه و بين الجيويد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة في مناطق أخري من العالم. لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الاليبسويد المرجعي قليلا Re-Positionلكي يحقق هذا الهدف. وفي هذه الحالة – أي بعد إجراء هذا التعديل البسيط – فلم يعد هذا الاليبسويد كما كان في الأصل لكنه صار في وضع مختلف ، وهنا نطلق عليه اسم مرجع أو مرجع جيوديسي أو مرجع وطني أو بيان A geodetic Datum, a local datum, or simply a datum. أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا اليبسويد عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بآخري ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلا لشكل الجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة. كما يجب الإشارة إلي أنه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما و الجيويد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتمادا علي هذا المرجع.

جدول (٢-١) بعض نماذج الاليبسويد المستخدمة عالميا

اسم الاليبسويد	نصف المحور الأكبر a بالمتر	نصف المحور الأصغر b بالمتر	الدولة التي تستخدمه
Helmert 1906	٦٣٧٨٢٠٠	٦٢٥٦٨١٨	مصر
Clarke 1866	٦٣٧٨٢٧٤	٦٣٥٦٦٥١	أمريكا الشمالية
Bassel 1841	٦٣٧٧٣٩٧	٦٣٥٦٠٧٩	وسط أوروبا
Airy 1830	٦٣٧٧٥٦٣	٦٣٥٦٢٥٧	بريطانيا
WGS72	٦٣٧٨١٣٥	٦٣٥٦٧٥٠	عالمي
WGS84	٦٣٧٨١٣٧	٦٣٥٦٧٥٢	عالمي

ولتوضيح هذه النقطة الهامة أكثر سنأخذ مثال لجمهورية مصر العربية. عند بدء أعمال الجيوديسيا و إنشاء الخرائط في مصر في بداية القرن العشرين كان أحدث اليبسويد متاح في ذلك الوقت هو اليبسويد هلمرت ١٩٠٦. تم اتخاذ القرار باختيار هذا الاليبسويد ليكون سطحا مرجعيا لمصر. وبعد ذلك تم إجراء عدد من التعديلات علي وضع هذا الاليبسويد ليتكون ما

يعرف باسم المرجع الوطني المصري ١٩٠٧ Old Egyptian Datum أو اختصارا OED1970. أحد هذه التعديلات كان الفرض بأن الارتفاع عن سطح الاليبسويد = الارتفاع عن متوسط سطح البحر عند النقطة الأساسية المسماة F1 أو نقطة الزهراء بجبل المقطم. هذا الفرض يعني أننا افترضنا أن سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ ينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة (هذا غير حقيقي لكنه فرض أساسي لتسهيل بدء الحسابات الجيوديسية لشبكات الثوابت الأرضية المساحية). وبمعنى آخر أننا قمنا برفع سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ عدة أمتار لينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة المحددة ، وبالتالي لم يعد هلمرت ١٩٠٦ هو ذلك الاليبسويد العالمي الذي تم تحديد شكله و حجمه ووضعه ليكون أقرب ما يمكن لتمثيل شكل الأرض علي المستوي العالمي ، إنما صار له وضع جديد يناسب المنطقة الجغرافية لجمهورية مصر العربية فقط. هنا لا نقول أنه اليبسويد أنما نطلق عليه اسم المرجع المصري.

كما يجب الإشارة في هذا السياق إلي وجود مراجع وطنية عديدة لدول مختلفة كلها تعتمد علي نفس الاليبسويد العالمي ، لكن كل مرجع منهم يعدل وضع هذا الاليبسويد بصورة مختلفة. كمثال فان المراجع الوطنية لكلا من السودان و تونس و المغرب و الجزائر و الإمارات و عمان تعتمد جميعها علي اليبسويد Clarke 1880 لكن كل مرجع له وضع مختلف (أنظر عناصر التحويل بين المراجع لاحقا).

المراجع التي تحدثنا عنها حتى الآن هي ما يمكن أن نطلق عليها اسم المراجع الأفقية Horizontal Datum وهي الخاصة بتحديد المواقع في المستوي الأفقي. أما عند التعامل مع الإحداثيات في المستوي الرأسي (أي الارتفاعات) فأننا نحتاج إلي نوع آخر من المراجع هي المراجع الرأسية Vertical Datum. ويعد الجيويد هو المرجع الرأسي المعتمد في العديد من دول العالم ، أي لتحديد هذا المرجع نحتاج لتحديد النقطة التي يكون عندها متوسط سطح البحر يساوي صفر. وكمثال في مصر فقد تم إنشاء محطة قياس المد و الجزر Tide Gauge في ميناء الإسكندرية وتم تسجيل قياساتها لمدة ٨ سنوات من عام ١٨٩٨ إلي عام ١٩٠٦ وأخذ متوسطها بحيث أن هذه القراءة (علي المسطرة المدرجة داخل المحطة) اعتبرت هي المنسوب المساوي للصفر أي هي النقطة التي تحدد موقع الجيويد. و انطلاقا من هذه النقطة المرجعية تم استخدام أسلوب الميزانية Leveling لإنشاء مجموعة من النقاط – تسمي الروبيرات أو Bench Marks: BM- المعلومة المنسوب و التي تغطي معظم أرجاء مصر. لذلك نقول أن المرجع الوطني الرأسي المصري Vertical Egyptian Datum هو قيمة متوسط سطح البحر MSL عند الإسكندرية في عام ١٩٠٦. وفي إطار هذا السياق تجب الإشارة إلي أن هذا المرجع الرأسي قد تغيرت قيمته نتيجة ارتفاع متوسط سطح البحر علي المستوي العالمي في المائة عام الأخيرة (بقيمة متوسطة تبلغ +١١.٦ سم وبمعدل ١.٧ ملليمتر/سنة في مصر).

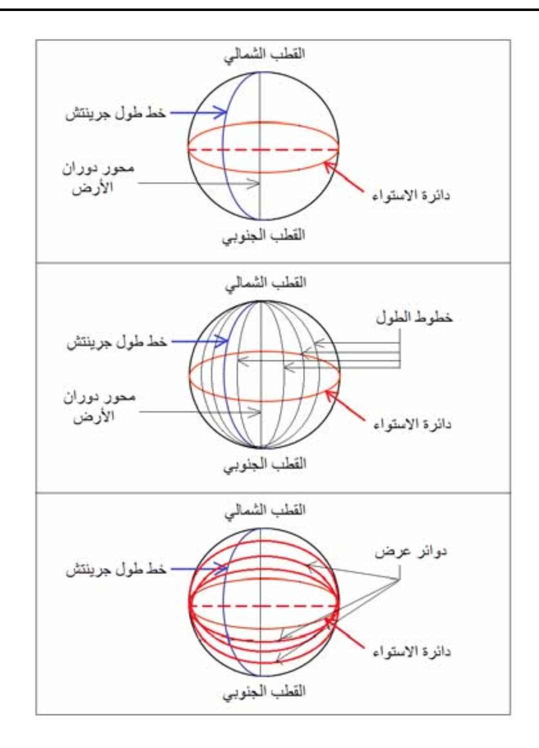
٢-٤ نظم الإحداثيات:

الإحداثيات Coordinates هي القيم التي بواسطتها نعبر عن موقع معين علي سطح الأرض أو علي الخريطة. وتتعدد أنظمة الإحداثيات تبعا لاختلاف السطح المرجعي الذي يتم تمثيل المواقع عليه. فعند اختيار المستوي كسطح مرجعي (مثل الخريطة) فأن الإحداثيات تكون إحداثيات مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد Two-Dimensional (or 2D) Coordinates. ويرجع اسم ثنائية الأبعاد إلي أن كل نقطة – علي الخريطة مثلا – يلزمها قيمتين لتحديد موقعها وليكن مثلا س ، ص. بينما عند اعتماد الكرة أو الاليبسويد كسطح مرجعي فأننا نتعامل مع نوع الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد Three-Dimensional (or 3D) Coordinates حيث يجب إضافة ارتفاع النقطة عن سطح

المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها الدقيق ، أي نحتاج لمعرفة القيم الثلاثة س ، ص ، ع لكل موقع. وفي حالة الكرة تسمي الإحداثيات باسم الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates بينما في حالة الاليبسويد تسمي بالإحداثيات الجيوديسية Geodetic Coordinates أو الإحداثيات الجغرافية Geographic Coordinates أو الإحداثيات الاليبسويدية Ellipsoidal Coordinates. كما توجد إحداثيات أحادية البعد One-Dimensional (or 1D) Coordinates وهي غالبا التي تعبر فقط عن ارتفاع النقطة من سطح الشكل المرجعي المستخدم. وفي التطبيقات الجيوديسية و الجيوفيزيقية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد Four-Dimensional (or 4D) Coordinates حيث يتم تحديد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تكون إحداثياتها هي س ، ص ، ع ، ن حيث البعد الرابع "ن" يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع. وسنستعرض بعض أنظمة الإحداثيات بالتفصيل في الأجزاء التالية.

منذ قرون مضت أبتكر العلماء طريقة لتمثيل موقع أي نقطة علي سطح الأرض (باعتبار أن الأرض كرة) وذلك عن طريق:

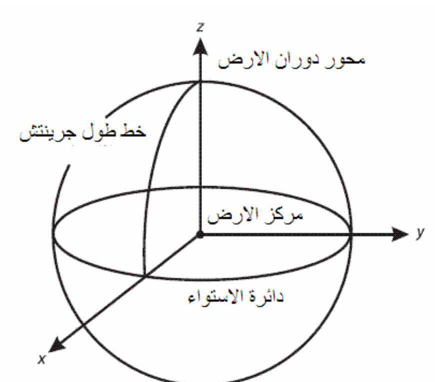
- تم اتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمي (أي التي تمر بمركز الأرض) والتي تقع في منتصف المسافة بين القطبين وسميت بدائرة الاستواء.
- أتخذ الخط الأساسي الرأسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي وتمر ببلدة جرينتش بانجلترا (شكل ٢-٥ أ).
- قسمت دائرة الاستواء إلي ٣٦٠ قسما متساويا و رسم علي سطح الأرض ٣٦٠ نصف دائرة (وهمية أو اصطلاحية) تصل بين القطبين وتمر بأحدي نقاط التقسيم علي دائرة الاستواء ، وكل نصف دائرة تسمي خط طول Longitude. ويتضح من ذلك أن الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتي تقسيم متجاورتين تساوي ١ درجة (يرمز للدرجة بالرمز °١) لان ٣٦٠ درجة تقابل ٣٦٠ قسما. وتم ترقيم خط طول جرينتش بالرقم صفر وخط الطول المجاور له من جهة الشرق °١ شرق ، ثم °٢ شرق ، .... إلي °١٨٠ شرق وبنفس الطريقة للخطوط الواقعة غرب جرينتش من °١ غرب ، إلي °١٨٠ غرب. وتكون زاوية خط الطول (شكل ٢- ٥ ب) هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة الاستواء والمحصورة بين ضلعين يمر أحدهما بخط طول جرينتش بينما يمر الآخر بخط طول النقطة ذاتها.
- تم تقسيم خط الطول الأساسي (جرينتش) إلي ١٨٠ قسما متساويا ورسم علي الأرض دوائر صغري وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الاستواء وتمر كل دائرة منها بأحدي نقاط تقسيم خط طول جرينتش. وبذلك تكون الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتين متجاورتين من نقاط التقسيم تساوي °١ لان ١٨٠ درجة تقابل ١٨٠ قسما ، وأطلق علي هذه الدوائر اسم دوائر العرض ومنهم ٩٠ دائرة شمال دائرة الاستواء و ٩٠ دائرة جنوبه. وبنفس الأسلوب تم ترقيم دائرة الاستواء بالرقم صفر ودائرة العرض المجاور لها من جهة الشمال °١ شمال ، ثم °٢ شمال ، .... إلي °٩٠ شمال وبنفس الطريقة للدوائر الواقعة جنوب دائرة الاستواء من °١ جنوب ، إلي °٩٠ جنوب. زاوية العرض Latitude هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة من دوائر الطول و رأسها عند مركز الدائرة و ضلعها الأساسي يمر في مستوي الاستواء و الضلع الآخر يمر في دائرة من دوائر العرض (شكل ٢-٥ ج).



شكل (٢-٥) تحديد المواقع علي الكرة

٢-٤-١ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية:

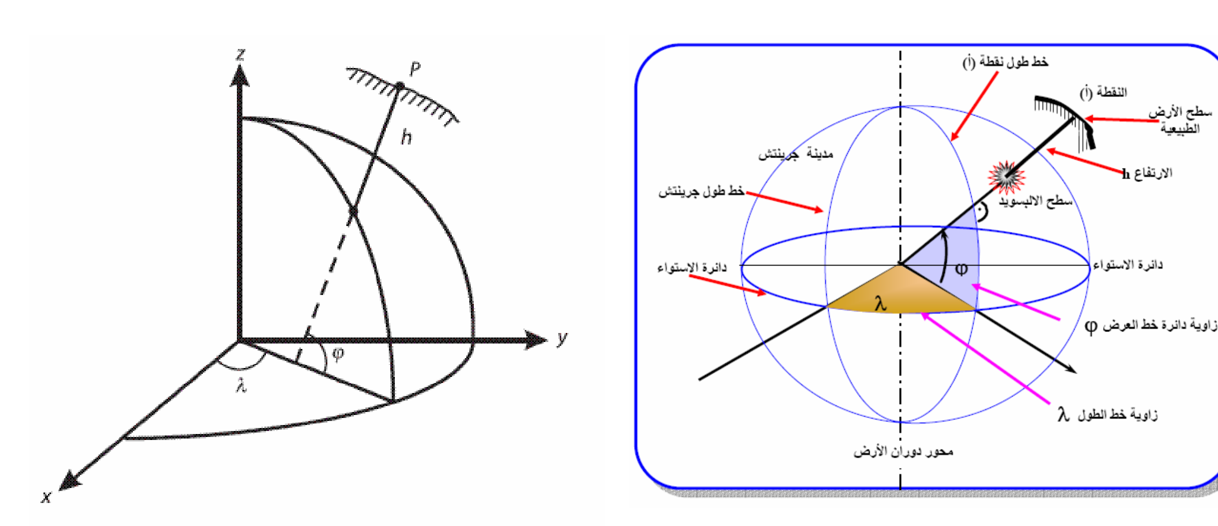
نظام الإحداثيات الجيوديسية هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره مثبتـه مـع الأرض أثنـاء دورانهـا ولـذلك يطلـق عليـه نظـام مركـزي أرضـي ثابـت Earth-Centered Earth-Fixed أو اختـصارا ECEF. مركـز النظـام يقـع فـي مركـز جاذبيـة الأرض، وينطبق محوره الرأسي z مع محور دوران الأرض ، يتجه محوره الأفقي الأول x ناحية خط طول جرينتش بينما محوره الأفقي الثاني y يكون عموديا علي محور x (شكل ٢-٦).



شكل (٢-٦) نظام الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاثة قيم أو ثلاثة إحداثيات ، أي أن هذا النظـام ثلاثـي الأبعاد 3D (شكل ٢-٧) :

- خط الطول Longitude ويرمز لـه بـالرمز اللاتينـي λ (ينطق لامدا) ، وهو الزاوية المقاسة فـي مستوي دائرة الاستواء بين خط طول جرينتش (وهو خط الطول الذي أصطلح دوليا أن يكون رقم صفر) و خط طول النقطة المطلوبة.
- دائرة العرض Latitude ويرمز له بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي) ، وهي الزاوية في المستوي الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوي دائرة الاستواء (يلاحظ في الشكل أن الاتجاه العمودي علي سطح الاليبسويد لا يمر بمركز الاليبسويد عكس حالة الكرة حيث يمر العمودي علي سطح الكرة بمركزها).
- الارتفاع عن سطح الاليبسويد ويرمز لـه بـالرمز h ويسمي الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الاليبسويدي Geodetic or Ellipsoidal Height



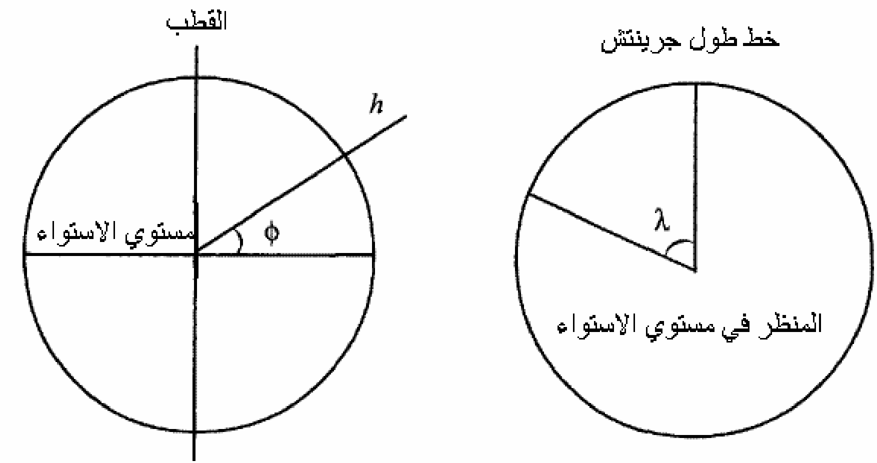
شكل (٢-٧) الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

وتوجد عدة نظم للوحدات المستخدمة في التعبير عن خطوط الطول و دوائر العرض أشهرها نظام الوحدات الستيني ، وفيه يتم تقسم الدائرة الكاملة إلي ٣٦٠ درجة (رمز الدرجة هو ^{o}) ثم تقسم الدرجة إلـي ٦٠ جزء كلا منهم يسمي الدقيقة (رمز الدقيقة هو ') ثم لاحقا تقسم الدقيقة الواحدة إلي ٦٠ جزء يسمي الواحد منهم بالثانية (رمز الثانية هو "). كمثـال: خط الطول 30^o 45' 52.3" يعني أن موقع هذه النقطة عند ٣٠ درجة و ٤٥ دقيقة و ٥٢.٣ ثانية.

تكون خطوط الطول أما شرق خط طول جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف ق أو E) أو غرب جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف غ أو W). أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون أما شمال دائرة الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ش أو N) أو جنوب خط الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ج أو S).

٢-٤-٢ الإحداثيات الكروية:

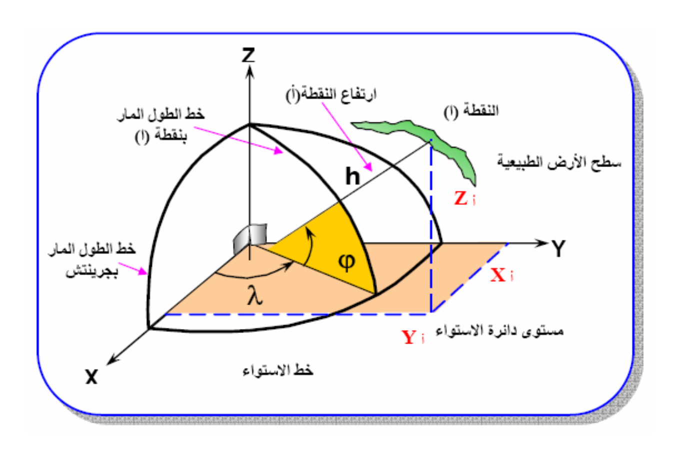
يشبه نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates نظام الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية ألا في اختلاف واحد فقط ألا وهو أن السطح المرجعي هنا هو الكرة و ليس الاليبسويد (شكل ٢-٨). يلاحظ في الشكل (خاصة لقياس دائرة العرض ϕ) أن الاتجاه العمودي علي سطح الكرة يمر بمركزها عكس حالة الاليبسويد حيث لا يمر العمودي علي سطح الاليبسويد بمركزه.



شكل (٢-٨) الإحداثيات الكروية

٢-٤-٣ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية:

هو نظام إحداثيات مشابه تماما في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديسية ألا أنه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) و ليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات ، وقد أبتكره العالم الفرنسي ديكارت في القرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية Cartesian Geodetic Coordinates هي مركز الأرض ومحوره الأول X ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بجرينتش مع مستوي دائرة الاستواء ومحوره الثاني Y هو العمودي علي محور X بينما المحور الثالث (الرأسي) Z هو محور دوران الأرض و الذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. ويعبر عن موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X, Y, Z (شكل ٢-٩).



شكل (٢-٩) الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية

٢-٤-٤ الإطار المرجعي الأرضي العالمي:

نلاحظ أن المحور الرأسي في نظم الإحداثيات التي تحدثنا عنها حتى الآن كان يعرف علي أنه ينطبق مع محور دوران الأرض ، وهذا بافتراض أن محور دوران الأرض ثابت. هذا الأساس الفرضي ربما يكون مناسبا لمعظم تطبيقات تحديد المواقع – بما فيها التطبيقات الجيوديسية - التي تتطلب دقة سنتيمتر أو أكبر. لكن علماء الجيوديسيا أثبتوا منذ سنوات بعيدة أن محور دوران الأرض ليس ثابتا بصورة تامة ، لكنه يتحرك من عام لآخر في حركة أشبه بحركة

النحلة (لعبة الأطفال الشهيرة!) ، وبالتالي فأن تعريف أو تحديد محور دوران الأرض يتغير من فترة زمنية لآخري ، ومع أن هذا التغير بسيط جدا جدا (سنتيمترات فقط) إلا أنه يجب أخذه في الاعتبار في حالة تحديد نظام إحداثيات عالي الدقة وخاصة للتطبيقات الجيوديسية التي تتطلب دقة ملليمترات (مثل متابعة و رصد حركة القشرة الأرضية). وبناءا عليه فقد تم تطوير فكرة الإطار المرجعي الأرضي العالمي International Terrestrial Reference Frame أو المعروف اختصارا باسم ITRF ، حيث تقوم احدي المنظمات الجيوديسية الدولية بتحديد محور دوران الأرض كل ٣ سنوات وذلك من خلال تجميع و تحليل القياسات الجيوديسية الدقيقة الموزعة علي جميع أنحاء الأرض. وبالتالي فأن هذا النظام من نظم الإحداثيات من الممكن اعتباره من الإحداثيات رباعية الأبعاد 4D حيث يتم تحديد ITRF طبقا لسنة epoch معينة. كمثال نجد: ITRF1990 , ITRF1995, ITRF2000, and ITRF2005.

٢-٤-٥ التحويل بين الإحداثيات الجغرافية:

يمكن باستخدام مجموعة المعادلات التالية تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) إلي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z):

$$X = (c + h) \cos\phi \cos\lambda$$
$$Y = (c + h) \cos\phi \sin\lambda \qquad (2\text{-}2)$$
$$Z = [\, h + c\,(1 - e^2)\,] \sin\phi$$

حيث c يسمي نصف قطر التكور radius of curvature ، e تسمي المركزية الأولي first eccentricity ويتم حسابهما كالتالي:

$$c = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2\phi)}} \qquad (2\text{-}3)$$

$$e = [\sqrt{(a^2 - b^2)}\,] / a \qquad (2\text{-}4)$$

أما للتحويل من الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) إلي الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) فأحد الحلول يتمثل في المعادلات التالية:

$$\tan\lambda = Y / X$$

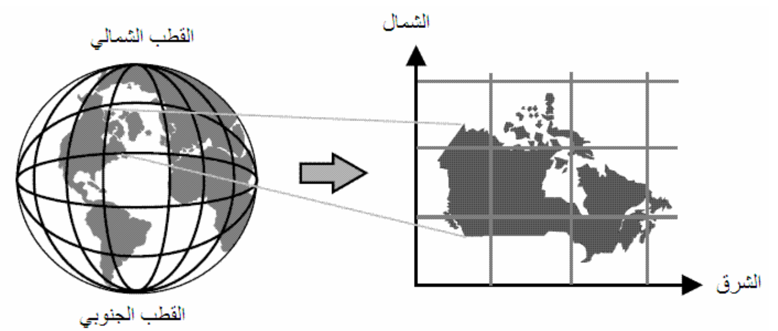
$$\tan\phi = \frac{Z \,/\, \sqrt{(X^2 + Y^2)}}{1 - e^2\,(c / (c + h))} \qquad (2\text{-}5)$$

$$h = \frac{\sqrt{(X^2+Y^2)}}{\cos\phi} - c$$

نلاحظ في هذه المعادلات أننا نحتاج لمعرفة قيمة c لكي نستطيع حساب قيمة ϕ و h ، لكن لنحسب قيمة c من المعادلة ٢-٣ فأننا نحتاج لمعرفة قيمة ϕ ! ولذلك يتم حساب هذا النوع من التحويل بطريقة تكرارية Iterative ، حيث نبدأ باستخدام قيمة تقريبية لدائرة العرض ϕ ونحسب قيمة تقريبية لنصف قطر التكور c ثم نأخذ قيمة c هذه لنحسب منها قيمة جديدة ϕ وهكذا لعدد من المرات إلي أن نجد عدم وجود أي فرق جوهري Significant بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض ϕ.

٢-٤-٦ إسقاط الخرائط:

إسقاط الخرائط Map Projection هو العملية الرياضية التي تمكننا من تحويل الإحداثيات علي مجسم الأرض - سواء كان الشكل المرجعي الذي يمثل الأرض هو الكرة أو الاليبسويد- (أي إحداثيات ثلاثية الأبعاد) إلي إحداثيات ممثلة علي سطح مستوي وهو الخريطة (أي إحداثيات ثنائية الأبعاد أو إحداثيات شبكية Grid Coordinates). أو بمعني آخر: هو العملية التي تمكننا من تحويل قيم خط الطول و دائرة العرض لموقع إلي الاحداثي الشرقي و الاحداثي الشمالي المطلوبين لتوقيع هذا الموقع علي الخريطة (شكل ٢-١٠). ويسمي الشكل الناتج عن عملية الإسقاط بالمسقط.



شكل (٢-١٠) عملية إسقاط الخرائط

ولا يمكن بأي حال من الأحوال أن تتم عملية تحويل الشكل المجسم للأرض إلي شكل مستوي (خريطة) بصورة تامة ولكن سيكون هناك ما نسميه " التشوه Distortion" في أي طريقة من طرق إسقاط الخرائط. تحاول الطرق المختلفة لإسقاط الخرائط أن تحافظ علي واحدة أو أكثر من الخصائص التالية بين الهدف الحقيقي علي الأرض و صورته علي الخريطة(مرة أخري لا يمكن تحقيق كل الخصائص مجتمعة):

- تطابق في المساحات
- تطابق في المسافات
- تطابق في الاتجاهات
- تطابق في الزوايا
- تطابق في الأشكال

هناك بعض أنواع الإسقاط التي تحافظ علي المسافات وتسمي مساقط المسافات المتساوية Equidistance Projection وأنواع تحافظ علي الأشكال و الزوايا معا لكن في مساحات محدودة وتسمي مساقط التماثل Conformal Projection (وهي الأقرب للاستخدام في التطبيقات المساحية) وأنواع ثالثة تحافظ علي المساحات وتسمي مساقط المساحات المتساوية Equal-Area Projection.

تنقسم مساقط الخرائط إلي ٤ مجموعات رئيسية:

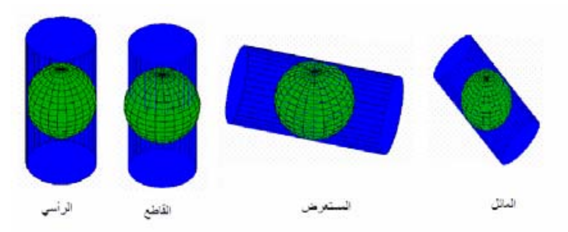
أ- المساقط الاسطوانية Cylindrical Projections: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي اسطوانة والتي أما تمس الأرض رأسيا أو تقطعها أو تمس الأرض عرضيا أو بصورة مائلة (شكل ٢-١١).

ب- المساقط المخروطية Conical; Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مخروط والذي أما يمس الأرض رأسيا أو يقطعها (شكل ٢-١٢).

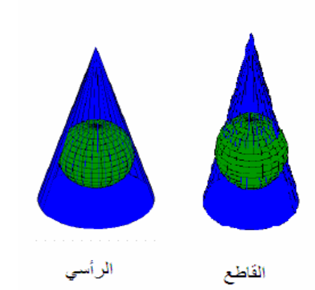
ت- المساقط السمتية أو المستوية أو الاتجاهية Azimuthal Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مستوي والذي أما يمس الأرض رأسيا عند نقطة محددة أو يقطعها في دائرة (شكل ٢-١٣).

ث- مساقط أخري خاصة.

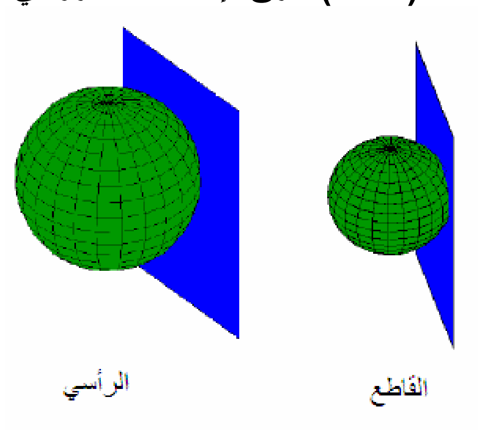
غالبا يلعب شكل المنطقة الجغرافية المطلوب إسقاطها دورا مهما في تحديد طريقة الإسقاط المناسبة ، فكمثال نختار طريقة إسقاط سمتية إذا كانت شكل المنطقة شبه دائري و طريقة إسقاط اسطوانية للمناطق شبه المستطيلة و طريقة إسقاط مخروطية للمناطق شبه المثلثية.



شكل(٢-١١) طرق الإسقاط الاسطواني



شكل (٢-١٢) طرق الإسقاط المخروطي

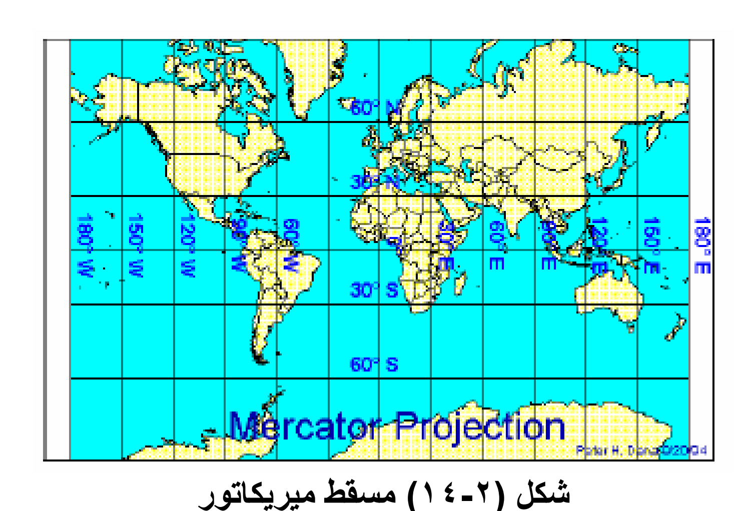


شكل(٢-١٣) طرق الإسقاط السمتي أو المستوي

وفي الجزء التالي سنستعرض بعض نماذج مساقط الخرائط الشهيرة:

مسقط ميريكاتور Mercator Projection:

مسقط أسطواني يحقق شرط أن خطوط الطول و دوائر العرض تتقاطع في زوايا قائمة تماما. يكون المقياس scale صحيحا عند دائرة الاستواء أو عند دائرتي عرض قياسيتين Standard Parallels علي مسافات متساوية من الاستواء. غالبا يستخدم هذا المسقط في الخرائط البحرية (شكل ٢-١٤).



شكل (٢-١٤) مسقط ميريكاتور

مسقط ميريكاتور المستعرض Transverse Mercator Projection:

ينتج هذا المسقط من إسقاط الأرض علي اسطوانة تمسها عند خط طول مركزي Central Meridian. وغالبا يستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال-جنوب أكبر من امتدادها في اتجاه شرق-غرب. يزداد التشوه (في المقياس و المسافة و المساحة) كلما ابتعدنا عن خط الطول المركزي ، ولذلك نلجأ إلي فكرة الشرائح عند استخدام هذا المسقط حيث يكون عرض الشريحة الواحدة – في اتجاه الشرق – ثلاثة أو أربعة درجات من خطوط الطول بحيث لا يكون مقدار التشوه كبيرا عند أطراف الشريحة التي يقع خط طولها المركزي في منتصفها. مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا.

مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي Universal Transverse Mercator Projection:

يعد أشهر أنواع مساقط الخرائط علي المستوي العالمي و يرمز له اختصارا بأحرف UTM. كما زادت أهميته في السنوات الأخيرة بسبب أنه أحد المساقط المستخدمة في أجهزة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS.

- يعتمد مسقط UTM علي إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم الأرض إلي ٦٠ شريحة zones كلا منها يغطي **٦ درجات** من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة.

- تمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض ٨٠ جنوبا إلي دائرة العرض ٨٤ شمالا.

- ترقم الشرائح من رقم ١ إلي رقم ٦٠ بدءا من خط الطول ١٨٠° غرب ، بحيث تمتد الشريحة الأولي من ١٨٠° غرب إلي ١٧٤° غرب ويكون خط طولها المركزي meridian central عند ١٧٧° غرب.

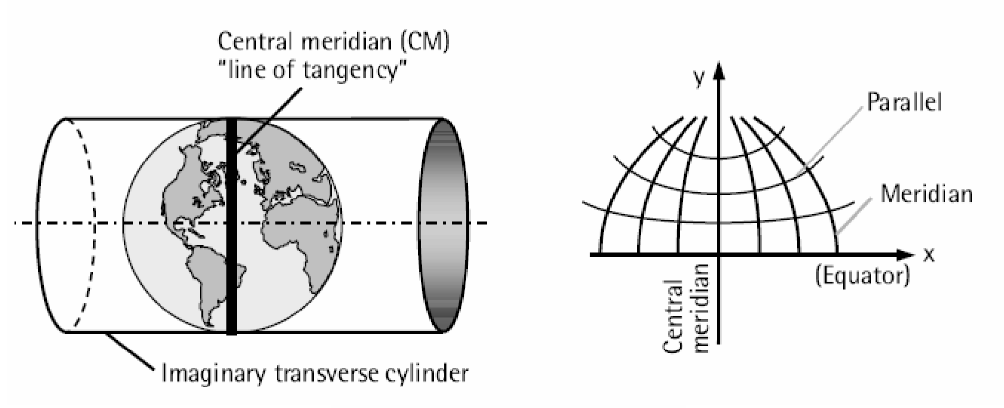
- تقسم كل شريحة طولية إلي مربعات كل **٨ درجات** من دوائر العرض.

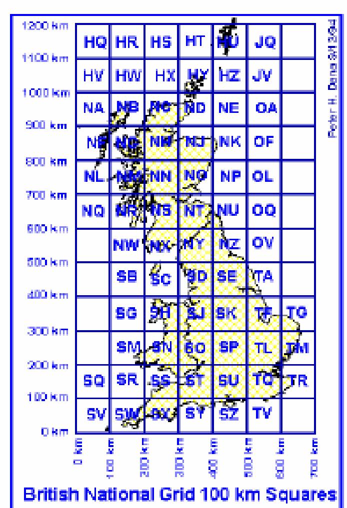
- يكون هناك حرف خاص – كاسم - لكل مربع من هذه المربعات ، وتبدأ الحروف من حرف **C** جنوبا إلي حرف X شمالا مع **استبعاد** حرفي I و O (لقرب الشبه بينهما وبين الأرقام الانجليزية!).

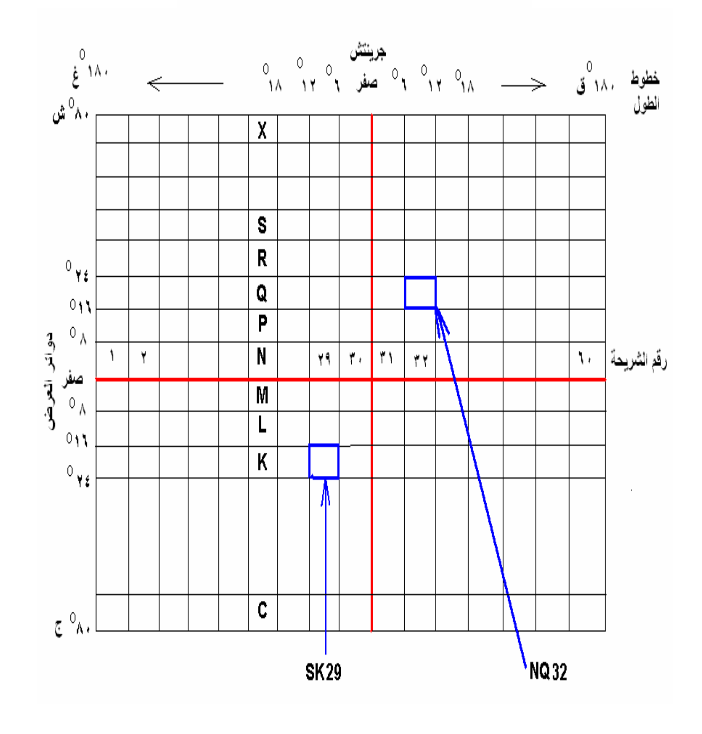
C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	2	3	4	5	6	-	7	8	9	10	11	-	12	13	14	15	16

- يكون معامل المقياس scale factor مساويا ٠.٩٩٩٦ عند خط الطول المركزي ، بحيث مع ازدياد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي فأن أقصي قيمة لمعامل القياس عند أطراف الشريحة ستكون ١.٠٠٠٩٧ عند خط الاستواء أو ١.٠٠٠٢٩ عند دائرة عرض ٤٥° ش.

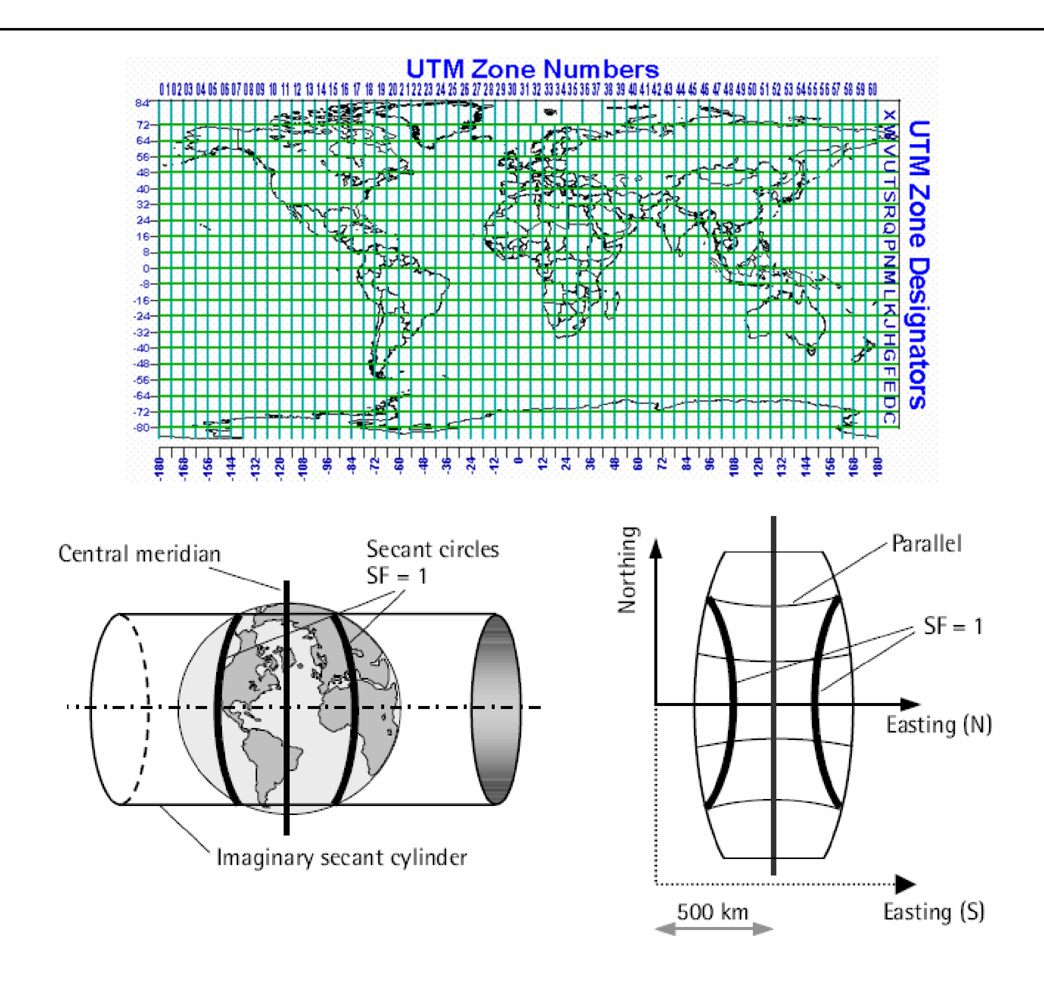
مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا (شكل ٢-١٥).







شكل (٢-١٥) مسقط ميريكاتور المستعرض



شكل (٢-١٦) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي

لتحديد رقم شريحة UTM لأي موقع جغرافي:

$$\textbf{ترتيب الحرف} = \left(\frac{\textbf{دائرة العرض} + ٨٠}{٨} \right) + ١ \qquad (٢-٦)$$

المعادلة السابقة لحالة أن الموقع الجغرافي يقع شمال دائرة الاستواء، أما إن كان الموقع يقع <u>جنوب</u> خط الاستواء فيتم استخدام معادلة أخري هي:

ترتيب الحرف = (دائرة العرض - ٨٠) ÷ ٨

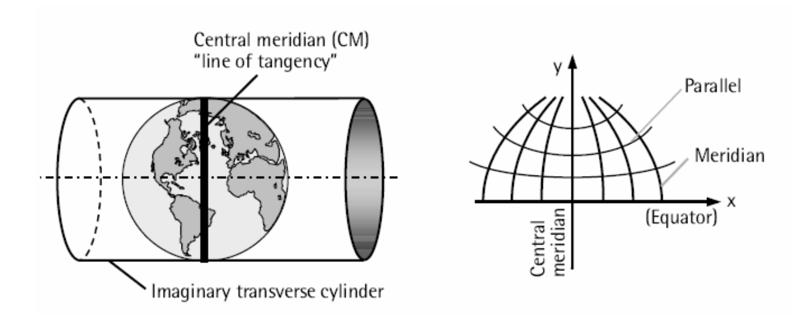
ولحساب رقم الشريحة:

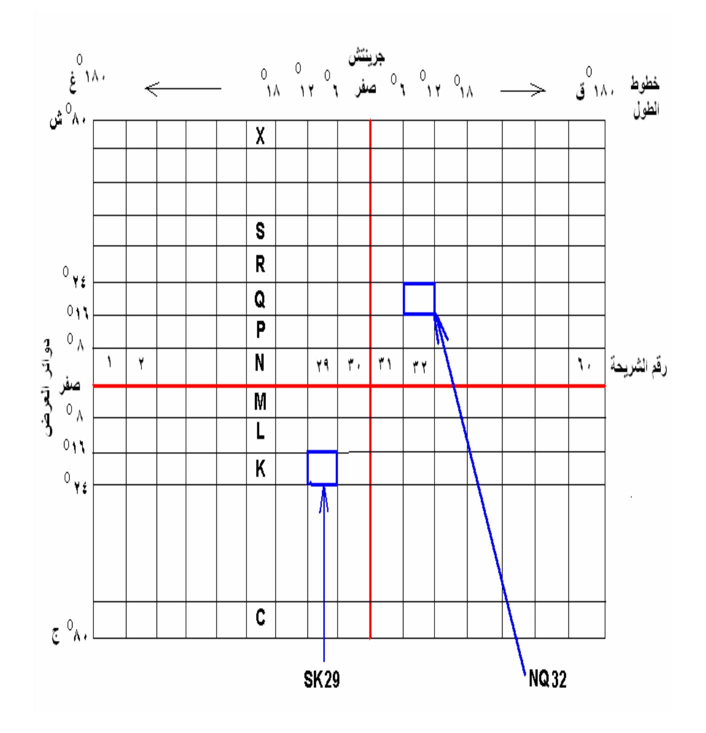
$$\textbf{رقم الشريحة} = \left(\frac{\textbf{خط الطول}}{٦} \right) + ٣١ \qquad (٢-٧)$$

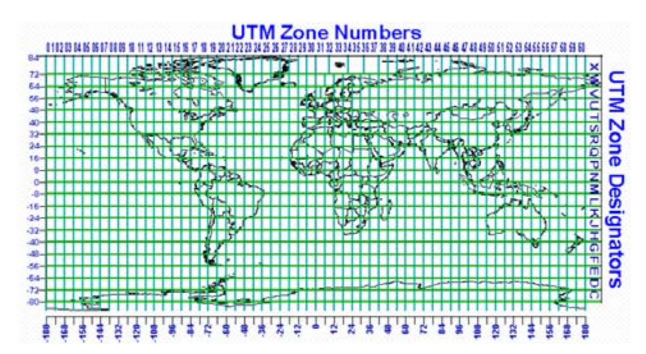
المعادلة السابقة لحالة أن الموقع الجغرافي يقع شرق جرينتش، أما إن كان الموقع يقع <u>غرب</u> جرينتش فيتم استخدام معادلة أخري هي:

رقم الشريحة = (خط الطول ÷ ٦) - ٣٠

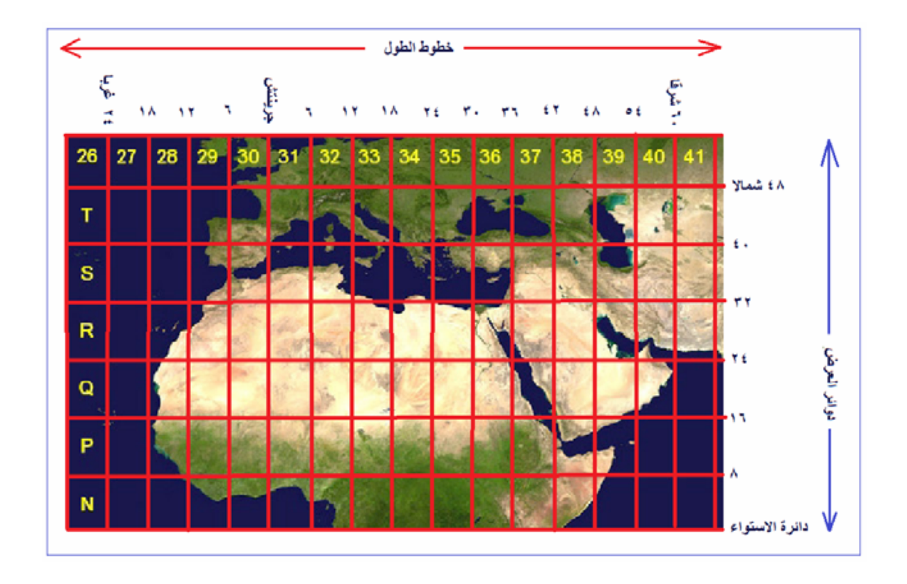
علي أن يتم في كلتا المعادلتين ٤-٨ و ٤-٩ أخذ الرقم الصحيح للناتج فقط ودون تقريب (بخلاف طريقة حساب الخرائط المليونية).







شكل (٢-١٧) مسقط ميريكاتور المستعرض



شكل (٢-١٨) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض للدول العربية

<u>مثال:</u>

حدد رقم شريحة UTM التي تقع بها مدينة جدة: خط الطول ١٧" ١٠' ٣٩° شرقا و دائرة العرض ٥٥" ٢٩' ٢١° شمالا؟

<u>أولا:</u> نحول خط الطول و دائرة العرض إلي وحدات الدرجات ليسهل التعامل معها:

خط الطول = (١٧/٣٦٠٠) + (١٠/٦٠) + ٣٩ = ٣٩.١٧١ درجة
دائرة العرض = (٥٥/٣٦٠٠) + (٢٩/٦٠) + ٢١ = ٢١.٤٩٩ درجة

<u>ثانيا:</u> لتحديد الشريحة العرضية (الحرف):

ترتيب الحرف = ((دائرة العرض + ٨٠) ÷ ٨) + ١
= ((٢١.٤٩٩ + ٨٠) ÷ ٨) + ١
= (١٠١.٤٩٩ ÷ ٨) + ١
= ١٢.٧ + ١
= ١٣.٧
أي الحرف رقم ١٣ (مع إلغاء الكسر الناتج <u>خلافا</u> لطريقة الشرائح المليونية).

الحرف رقم ١٣ في الحروف الانجليزية (بدءا من حرف C مع استبعاد حرفي I, O) هو: <u>**Q**</u>

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	2	3	4	5	6	-	7	8	9	10	11	-	12	13	14	15	16

<u>ثالثا:</u> لتحديد رقم الشريحة:

رقم الشريحة = (خط الطول ÷ ٦) + ٣١
= (٣٩.١٧١ ÷ ٦) + ٣١
= ٦.٥ + ٣١
= ٣٧.٥

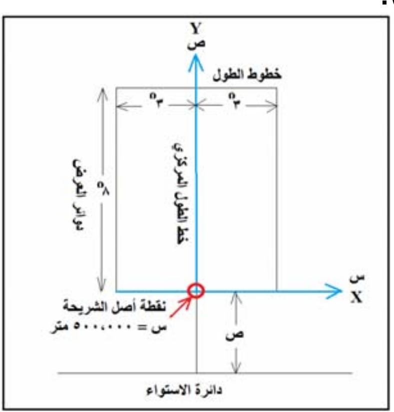
أي أنها الشريحة رقم **٣٧**   (مع إلغاء الكسر الناتج خلافا لطريقة الشرائح المليونية).

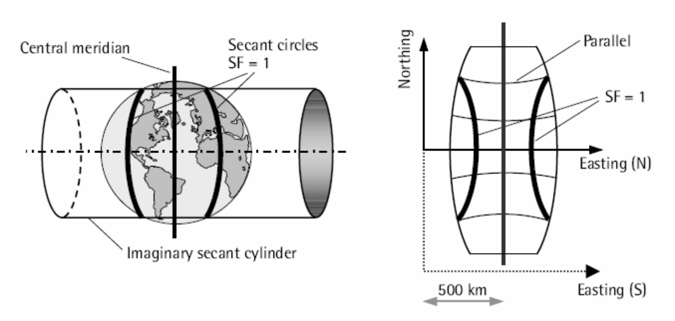
إذن:

رقم شريحة UTM لمدينة جدة هو : **Q37**

يتكون نظام الإحداثيات المسقطة في UTM من:

- نقطة الأصل (صفر ، صفر) للشريحة تقع في تقاطع خط الطول المركزي للشريحة مع دائرة الاستواء.
- الاحداثي السيني X في اتجاه الشرق.
- الاحداثي الصادي Y في اتجاه الشمال.
- تعطي قيمة إحداثيات شرقية زائفة False Easting لنقطة الأصل بقيمة ٥٠٠،٠٠٠ متر (لذلك فأن الاحداثي السيني لا يزيد عن ٦ خانات).
- لا تعطي أي قيمة إحداثيات شمالية زائفة False Easting لنقطة الأصل، أي أن قيمة الصفر في اتجاه الشمال تكون بالفعل عند دائرة الاستواء (وبذلك فأن الاحداثي الصادي قد يصل إلي ٧ خانات).





شكل (٢-١٩) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي

لا يمكن ضم شريحتين من شرائح UTM في خريطة واحدة (أو في ملف رقمي واحد) والسبب في ذلك أن نقطة أصل كل شريحة تأخذ الاحداثي السيني المفروض وهو ٥٠٠،٠٠٠ متر، مما سيجعل الإحداثيات الشرقية X للمعالم (المختلفة) علي كلا الخريطتين تتكرر في كلا الشريحتين.

تتكون معادلات التحويل من الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض) إلي الإحداثيات المترية بنظام UTM من عدة معادلات ليست بسيطة ولا يمكن حسابها بآلة حاسبة بل تحتاج لبرنامج كمبيوتر لإتمامها. الشكل التالي يقدم هذه المعادلات بصورة شاملة دون الدخول في تفاصيلها الكاملة.

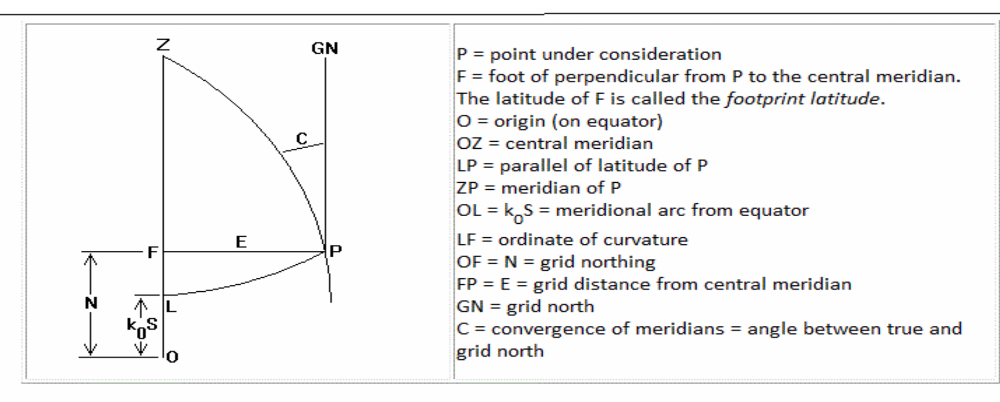
تجدر الإشارة لوجود بعض المواقع علي شبكة الانترنت التي تقدم خدمات آنية on-line لإجراء هذه الحسابات و تحويل الإحداثيات، ومنهم علي سبيل المثال:

http://www.rcn.montana.edu/resources/tools/coordinates.aspx

http://gis.dep.wv.gov/convert/llutm_conus.php

http://www.geod.nrcan.gc.ca/tools-outils/tools_info_e.php?apps=gsrug

http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html



Symbols

- lat = latitude of point
- long = longitude of point
- $long_0$ = central meridian of zone

  k_0 = scale along $long_0$ = 0.9996. Even though it's a constant, we retain it as a separate symbol to keep the
- numerical coefficients simpler, also to allow for systems that might use a different Mercator projection.
- e = $SQRT(1-b^2/a^2)$ = .08 approximately. This is the eccentricity of the earth's elliptical cross-section.

  $e'^2 = (ea/b)^2 = e^2/(1-e^2)$ = .007 approximately. The quantity e' only occurs in even powers so it need only be
- calculated as e'^2.
- n = (a-b)/(a+b)
- rho = $a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2(lat))^{3/2}$. This is the radius of curvature of the earth in the meridian plane.

  nu = $a/(1-e^2\sin^2(lat))^{1/2}$. This is the radius of curvature of the earth perpendicular to the meridian plane. It is also the distance from the point in question to the polar axis, measured perpendicular to the earth's
- surface.
- p = $(long-long_0)$ **in radians** (This differs from the treatment in the Army reference)

Calculate the Meridional Arc

S is the meridional arc through the point in question (the distance along the earth's surface from the equator). All angles are in radians.

- S = A'lat - B'sin(2lat) + C'sin(4lat) - D'sin(6lat) + E'sin(8lat), where lat is in radians and
- $A' = a[1 - n + (5/4)(n^2 - n^3) + (81/64)(n^4 - n^5)$ ...]
- $B' = (3 \tan S/2)[1 - n + (7/8)(n^2 - n^3) + (55/64)(n^4 - n^5)$ ...]
- $C' = (15 \tan^2 S/16)[1 - n + (3/4)(n^2 - n^3)$ ...]
- $D' = (35 \tan^3 S/48)[1 - n + (11/16)(n^2 - n^3)$ ...]
- $E' = (315 \tan^4 S/512)[1 - n$ ...]

The USGS gives this form, which may be more appealing to some. (They use M where the Army uses S)

$M = a[(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256 ....)lat$
$- (3e^2/8 + 3e^4/32 + 45e^6/1024...)\sin(2lat)$
$+ (15e^4/256 + 45e^6/1024 + ...)\sin(4lat)$
- $- (35e^6/3072 + ...) \sin(6lat) + ...)]$ where lat is in radians

This is the hard part. Calculating the arc length of an ellipse involves functions called *elliptic integrals*, which don't reduce to neat closed formulas. So they have to be represented as series.

Converting Latitude and Longitude to UTM

All angles are in radians.

y = northing = $K1 + K2p^2 + K3p^4$, where

- $K1 = Sk_0$,
- $K2 = k_0$ nu sin(lat)cos(lat)/2 = k_0 nu sin(2 lat)/4
- $K3 = [k_0 \text{ nu } \sin(lat)\cos^3(lat)/24][(5 - \tan^2(lat) + 9e'^2\cos^2(lat) + 4e'^4\cos^4(lat)]$

x = easting = $K4p + K5p^3$, where

- K4 = k_0 nu cos(lat)

شكل (٢-٢٠) معادلات تحويل الإحداثيات من نظام UTM إلي النظام الجغرافي

(المرجع: http://www.uwgb.edu/dutchs/usefuldata/utmformulas.htm)

Converting UTM to Latitude and Longitude

In response to innumerable e-mails, you *cannot* use UTM grid coordinates without knowing your zone. There are sixty points on the earth's surface that have the same numerical UTM coordinates, 120 if you consider that northing is duplicated in both hemispheres.

y = northing, x = easting (relative to central meridian; subtract 500,000 from conventional UTM coordinate).

Calculate the Meridional Arc

This is easy: $M = y/k_0$.

Calculate Footprint Latitude

- $mu = M/[a(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256...)$
- $e_1 = [1 - (1 - e^2)^{1/2}]/[1 + (1 - e^2)^{1/2}]$

footprint latitude fp = mu + J1sin(2mu) + J2sin(4mu) + J3sin(6mu) + J4sin(8mu), where:

- $J1 = (3e_1/2 - 27e_1^3/32 ..)$
- $J2 = (21e_1^2/16 - 55e_1^4/32 ..)$
- $J3 = (151e_1^3/96 ..)$
- $J4 = (1097e_1^4/512 ..)$

Calculate Latitude and Longitude

- $e'^2 = (ea/b)^2 = e^2/(1-e^2)$
- $C1 = e'^2\cos^2(fp)$
- $T1 = \tan^2(fp)$
- $R1 = a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2(fp))^{3/2}$. This is the same as rho in the forward conversion formulas above, but calculated for fp instead of lat.
- $N1 = a/(1-e^2\sin^2(fp))^{1/2}$. This is the same as nu in the forward conversion formulas above, but calculated for fp instead of lat.
- $D = x/(N1k_0)$

lat = fp - Q1(Q2 - Q3 + Q4), where:

- $Q1 = N1 \tan(fp)/R1$
- $Q2 = (D^2/2)$
- $Q3 = (5 + 3T1 + 10C1 - 4C1^2 -9e'^2)D^4/24$
- $Q4 = (61 + 90T1 + 298C1 +45T1^2 - 3C1^2 -252e'^2)D^6/720$

long = long0 + (Q5 - Q6 + Q7)/cos(fp), where:

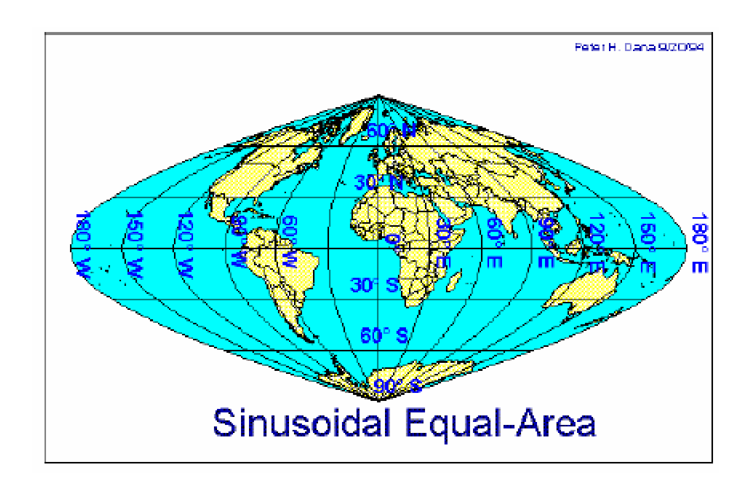
- $Q5 = D$
- $Q6 = (1 + 2T1 + C1)D^3/6$
- $Q7 = (5 - 2C1 + 28T1 - 3C1^2 + 8e'^2 + 24T1^2)D^5/120$

شكل (٢-٢١) معادلات تحويل الإحداثيات من النظام الجغرافي إلي نظام UTM

(المرجع: http://www.uwgb.edu/dutchs/usefuldata/utmformulas.htm)

مسقط ساينسويدال متساوي المساحات Sinusoidal Equal-Area Projection :

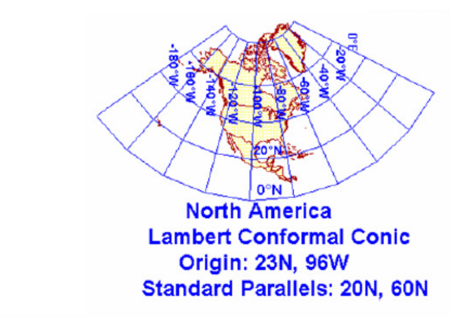
في هذا المسقط الذي يحافظ علي المساحات تتعامد دوائر العرض علي خط الطول المركزي فقط ، بينما مع باقي خطوط الطول فأن دوائر العرض تكون مقوسة بما يشبه منحني جيب الزاوية sin curves (من هنا جاء اسم هذا المسقط: المسقط الجيبي). ويكون مقياس الرسم صحيحا فقط عند خط الطول المركزي و دوائر العرض ، ويستخدم هذا المسقط (شكل ٢-٢٢) للمناطق التي تمتد في أنجاه شمال-جنوب.

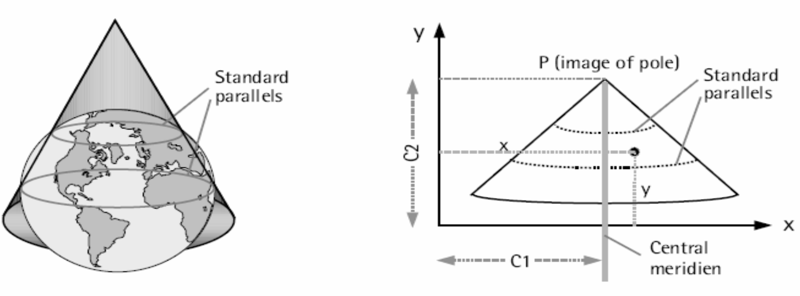


شكل (٢-٢٢) مسقط ساينسويدال متساوي المساحات

مسقط لامبرت المخروطي المتماثل Lambert Conformal Conic Projection:

يستخدم هذا المسقط المخروط (وليس الاسطوانة مثل المساقط السابقة) وفيه تكون المساحات و الأشكال متماثلة عند دائرتي العرض القياسيتين Standard Parallels ويزداد التشوه كلما ابتعدنا عنهما ، كما تكون الاتجاهات صحيحة في مناطق محدودة. و هذا المسقط مستخدم في أمريكا الشمالية (شكل ٢-٢٣).

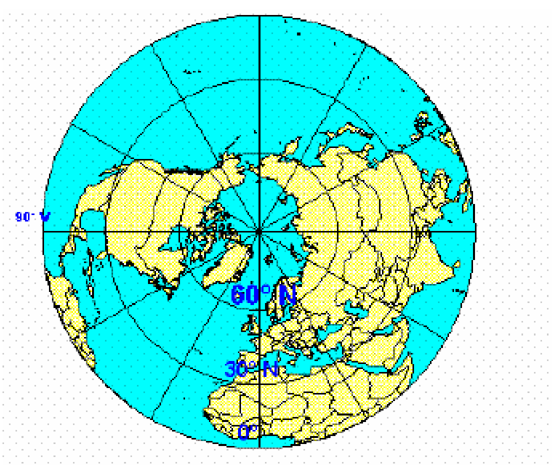




شكل (٢-٢٣) مسقط لامبرت المخروطي المتماثل

مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات Lambert Azimuthal Equal-Area Projection:

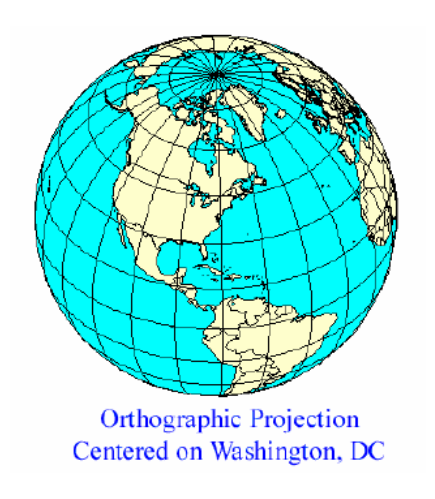
يستخدم هذا المسقط المستوي (وليس الاسطوانة أو المخروط) غالبا لرسم مناطق واسعة من المحيطات. وفيه يكون خط الطول المركزي خطا مستقيما بينما تكون باقي خطوط الطول منحنية (شكل ٢-٢٤).



شكل (٢-٢٤) مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات

المسقط الارثوجرافي أو المتعامد Orthographic Projection:

مسقط سمتي أيضا (أي يستخدم المستوي في الإسقاط) يستخدم غالبا لإظهار صورة عامة أو منظور لنصف الكرة الأرضية (شكل ٢-٢٥). وبه يوجد تشوه لكلا من المساحات و الأشكال وتكون المسافات صحيحة علي دائرة الاستواء ودوائر العرض الأخرى.


Orthographic Projection
Centered on Washington, DC

شكل (٢-٢٥) المسقط المتعامد أو الارثوجرافي

٢-٤-٧ نظم الإحداثيات المسقطة أو المستوية:

الإحداثيات المسقطة Projected Coordinates هي الإحداثيات المستوية ثنائية الأبعاد 2D الناشئة عن تطبيق احدي طرق إسقاط الخرائط ، أي هي إحداثيات أي نقطة علي الخريطة وليس علي سطح الأرض. وغالبا يرمز لها بالاحداثي الشرقي Easting أو اختصارا E و الاحداثي الشمالي Northing أو اختصارا N (البعض يقع في غلطة و يستخدم الرمزين x, y

الذين أصبح استخدامهما متعارفا عليه بصورة شائعة للدلالة علي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z). وحيث أن طرق إسقاط الخرائط متعددة بصورة كبيرة جدا فسنستعرض هنا مثاليين فقط لنظم إحداثيات مسقطة للتعرف علي كيفية التعامل مع هذه النظم و العناصر المطلوب معرفتها في كل نظام منهما. والمثاليين هما نظام الإحداثيات المصرية كأحد نظم الإحداثيات الوطنية لدولة عربية ، ونظام UTM العالمي المستخدم أيضا في بعض البلاد العربية مثل المملكة العربية السعودية.

٢-٤-٧-١ نظم الإحداثيات المصرية:

(أ) نظام الإحداثيات المصرية ETM

نظام إحداثيات الخرائط المصرية Egyptian Transverse Mercator أو اختصارا ETM هو نظام إسقاط ميريكاتور مستعرض. وحتى يمكن تقليل التشوه في الخرائط فقد تم تقسيم جمهورية مصر العربية إلي أربعة مناطق أو شرائح Zones وتسمي عاده باسم أحزمة Belts (٣ أحزمة). في هذا النظام تم اعتماد المرجع الجيوديسي Geodetic Datum المستخدم في خرائط الهيئة المصرية العامة للمساحة هو اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ Helmert 1906 (شكل ٢-٢٦).

توجد عدة عناصر يجب تعريفها لكل شريحة من شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض ، وهذه العناصر تختلف قيمها من دولة لأخرى حتى لو استخدمت الدولتان نفس المسقط. هذه العناصر الخمسة (تسمي معاملات الإسقاط Projection Parameters) تشمل:

- موقع نقطة الأصل للإسقاط Origin والذي يحدد من خلال قيمتين: خط الطول المركزي Central Meridian ودائرة العرض القياسية Standard Parallel.
- لتفادي وجود إحداثيات سالبة (غير مستحبة في الخرائط) فيتم إعطاء قيم إحداثيات مفترضة أو زائفة لنقطة الأصل بدلا من إعطائها الإحداثيات صفر شرقا و صفر شمالا ، وذلك عن طريق تحديد عنصرين آخرين هما: الاحداثي الشرقي الزائف False Easting والاحداثي الشمالي الزائف False Northing.
- العنصر الخامس - من معاملات الإسقاط - المطلوب تحديده هو قيمة معامل مقياس الرسم عند خط الطول المركزي.

إن معادلات حساب الإحداثيات المسقطة ذاتها (أي معادلات تحويل الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية إلي إحداثيات الخريطة) معروفة للجميع وأصبحت مبرمجه داخل كل برامج الحاسب الآلي software الخاصة بتطبيقات المساحة و الخرائط و نظم المعلومات الجغرافية. إلا أن المهم في حالة استخدام أي برنامج هو تحديد معاملات الإسقاط الخمسة المطلوبة لهذا النوع من الإسقاط ، فربما نجد بعض البرامج لا تحتوي داخل قواعد بياناتها إسقاط خاص بدولة معينة لكنها تسمح بإنشاء مسقط جديد داخل البرنامج إذا حددنا قيم عناصره الخمسة. بمعني آخر: من الممكن أن نجد برنامج كمبيوتر لا يحتوي علي نظام الإسقاط المصري لكنه يسمح بإنشاء مسقط من نوع ميريكاتور المستعرض إذا قمنا بتحديد قيم العناصر الخمسة المستخدمة في الخرائط المصرية. وتجدر الإشارة إلي أن عناصر الإسقاط لأي دولة لا يمكن استنباطها أو محاولة حسابها لان هذه العناصر افتراضية ومن اختيار الجهة المسئولة عن الخرائط في هذه الدولة ، لأن وللأسف الشديد ما زالت بعض الدول العربية تعتبر قيم عناصر الإسقاط لها من الأسرار التي لا يجوز نشرها!

تجدر الإشارة إلي أنه في بعض برامج الكمبيوتر software يسمي هذا النظام Old Egyptian Datum 1907 أو اختصارا باسم OED 1907. يتميز هذا النظام بقيم عناصر الإسقاط تخص مصر. وتتغير قيم هذه العناصر مع كل حزام (منطقة) من الخرائط المصرية كالآتي:

١- الحزام الأحمر Red Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الوسطي من مصر وذلك من خط طول ٢٩ شرقا إلي خط طول ٣٣ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

False Easting = 615 000 m	الاحداثي الشرقي المفترض
False Northing = 810 000 m	الاحداثي الشمالي المفترض
Latitude = 30^{o} 0' 0"	دائرة العرض
Longitude = 31^{o} 0' 0"	خط الطول
Scale on central Meridian = 1.00	معامل مقياس الرسم
Zone width = 4^{o} 0' 0"	عرض المنطقة

٢- الحزام الأزرق Blue Belt:

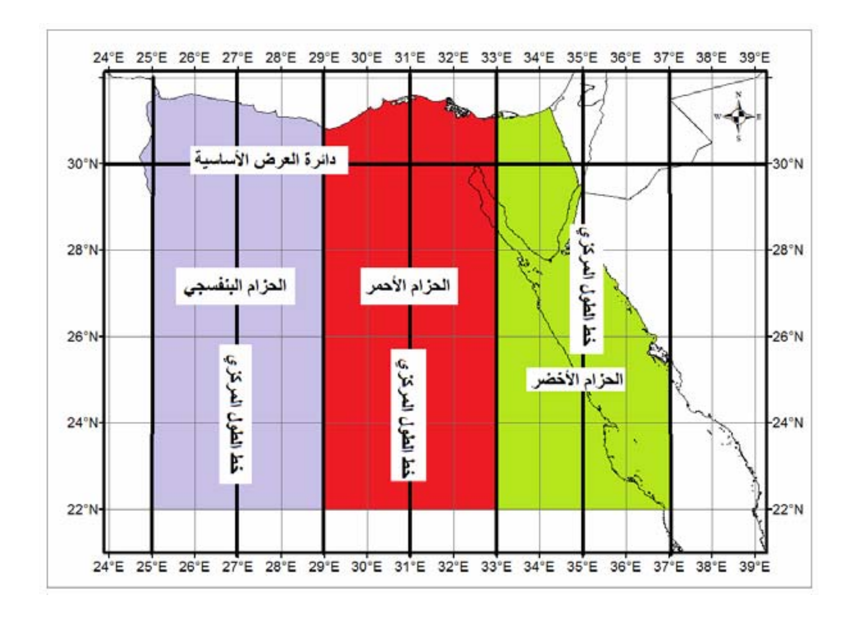
يغطي هذا الحزام المنطقة الشرقية من مصر وذلك من خط طول ٣٣ شرقا إلي خط طول ٣٧ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

False Easting = 300 000 m	الاحداثي الشرقي المفترض
False Northing = 110 000 m	الاحداثي الشمالي المفترض
Latitude = 30^{o} 0' 0"	دائرة العرض
Longitude = 35^{o} 0' 0"	خط الطول
Scale on central Meridian = 1.00	معامل مقياس الرسم
Zone width = 4^{o} 0' 0"	عرض المنطقة

٣- الحزام البنفسجي Purple Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الغربية في مصر وذلك من خط طول ٢٥ شرقا إلي خط طول ٢٩ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

False Easting = 700 000 m	الاحداثي الشرقي المفترض
False Northing = 200 000 m	الاحداثي الشمالي المفترض
Latitude = 30^{o} 0' 0"	دائرة العرض
Longitude = 27^{o} 0' 0"	خط الطول
Scale on central Meridian = 1.00	معامل مقياس الرسم
Zone width = 4^{o} 0' 0"	عرض المنطقة



شكل (٢-٢٦) شرائح نظام الإسقاط المصري ETM

تجدر الإشارة إلي وجود شريحة رابعة ثانوية تسمي امتداد الحزام الأحمر Extended Red Belt تغطي المنطقة جنوب مدينة أسوان. أتضح أن قيمة الاحداثي الشمالي المفترض (٨١٠ كيلومتر) لشريحة الحزام الأحمر سيتسبب في وجود إحداثيات شمالية سالبة في هذه المنطقة الجنوبية من الأراضي المصرية (أعتقد أنه لم يكن متخيلا منذ مائة عام أن تتم أي مشروعات مساحية أو إنتاج خرائط لهذه المنطقة أقصي جنوب مصر ولذلك تم اختيار قيمة ٨١٠ كيلومتر و هي تقريبا المسافة من القاهرة إلي أسوان!). وفي هذه الشريحة الرابعة يتم تغيير قيمة الاحداثي الشمالي المفترض من ٨١٠،٠٠٠ متر إلي ١,٠٠٠،٠٠٠ متر.

(ب) نظام الإحداثيات المصرية المطورة MTM

نظرا لانتشار استخدام تقنية GPS في الأعمال المساحية في مصر فقد أعلنت الهيئة المصرية العامة للمساحة منذ عدة أعوام عن تطوير نظام جديد للإحداثيات المستخدمة في الخرائط المصرية وعرف هذا النظام باسم: نظام ميريكاتور المستعرض المعدل Modified Transverse Macerator أو اختصارا باسم MTM (نفس النظام مطبق في بعض أجزاء من كندا أيضا). لم يتم التحول لهذا النظام بصورة رسمية بعد ، إلا أن خرائط بعض المشروعات الجديدة قد تم تطويرها اعتمادا عليه. وسيعتمد نظام MTM علي المرجع الجيوديسي أو اليبسويد WGS84 وليس اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ كالنظام السابق.

مثل النظام السابق سيكون نظام MTM مستخدما لنوع إسقاط الخرائط من نوع ميريكاتور المستعرض ، لكن سيتم تقسيم مصر إلي ٥ شرائح (وليس ٣ فقط في النظام السابق) لتقليل قيمة التشوه إلي أقل ما يمكن للوصول لدقة عالية للخرائط.

توجد عدة عناصر مشتركة بين الشرائح الخمسة كالآتي:

الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 300 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 0 m
دائرة العرض	Latitude = 0^{o} 0' 0"

معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 0.9999
عرض المنطقة	Zone width = 3° 0' 0"

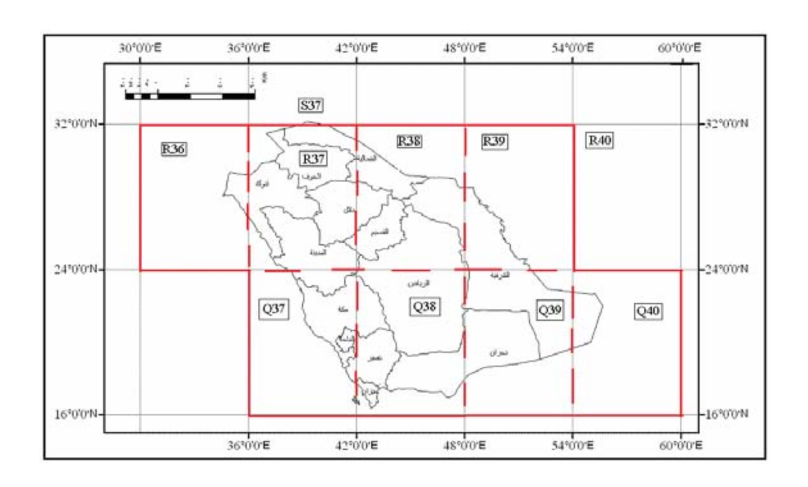
والقيمة الوحيدة التي تتغير من شريحة لآخري هي خط الطول كالآتي:

الشريحة رقم ١	Longitude = 25° 30' 0"
الشريحة رقم ٢	Longitude = 28° 30' 0"
الشريحة رقم ٣	Longitude = 31° 30' 0"
الشريحة رقم ٤	Longitude = 34° 30' 0"
الشريحة رقم ٥	Longitude = 37° 30' 0"

<u>٢-٤-٧-٢ نظم إحداثيات UTM:</u>

إضافة لما سبق ذكره في الأجزاء السابقة عن خصائص مسقط UTM فنضيف أيضا أنه لعدم وجود أي إحداثيات سالبة (الوضع غير المستحب في المساحة و الخرائط) فقد تم الأخذ بمبدأ المركز الزائف أو المفترض False Origin. في كل شريحة من شرائح مسقط UTM تقاس الإحداثيات الشرقية من خط الطول المركزي والذي يعطي له إحداثيات شرقية زائفة تساوي ٥٠٠ كم ، بينما تقاس الإحداثيات الشمالية مباشرة من دائرة الاستواء. وهذا الوضع يجعل من المهم جدا في أي خريطة UTM أن نعرف رقم الشريحة التي تعتمد عليها إحداثيات هذه الخريطة (حيث أن قيم الإحداثيات الشرقية ستتكرر من خريطة لآخري تقع معها علي نفس الامتداد من خطوط الطول).

تعد المملكة العربية السعودية من الدول التي تعتمد في خرائطها علي نظام UTM ، وقد اعتمدت الاليبسويد العالمي لعام ١٩٢٤ International Ellipsoid 1924 (حيث نصف المحور الأكبر = ٦٣٧٨٣٨٨ متر و التفلطح 1/f = ٢٩٧) كسطح مرجعي في مرجعها الجيوديسي الوطني المسمي عين العبد ١٩٧٠. وفي معظم برامج الكمبيوتر فمن الممكن الاكتفاء بتحديد رقم الشريحة (لمنطقة معينة) ويقوم البرنامج باستخدام معاملات و معادلات تحويل مسقط UTM المناسبة لهذه المنطقة ليتم تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية إلي الإحداثيات المسقطة أو المستوية ، ويقدم شكل ٢-٢٧ أرقام الشرائح التي تغطي المناطق الإدارية للمملكة.



شكل (٢-٢٧) شرائح مسقط UTM للمملكة العربية السعودية

حديثا قامت المملكة العربية السعودية باعتماد مرجع جيوديسي حديث أطلق عليه اسم المرجع الجيوديسي السعودي ٢٠٠٠ Saudi Geodetic Datum 2000 أو اختصارا SGD2000، بغرض أن يتناسب مع أرصاد تقنية الجي بي أس دون الدخول في مشكلات دقة عناصر التحويل (مثل نظام MTM الحديث في مصر). يعتمد المرجع الجديد علي الاليبسويد العالمي GRS80 (والذي يكاد ينطبق مع اليبسويد WGS84 الخاص بالجي بي أس) بدلا من الاليبسويد العالمي ١٩٢٤ المستخدم في مرجع عين العبد ١٩٧٠. تبلغ قيمة نصف المحور الأكبر a لاليبسويد GRS80 ٦٣٧٨١٣٧ متر وتبلغ قيمة معامل التفلطح 1/f ٢٩٨.٢٥٧٢٢٢١٠١. ويعتمد مرجع SGD2000 علي الإطار المرجعي العالمي ITRF-2000 (أنظر ٢-٤-٨-٣ لاحقا)، ومثله مثل مرجع عين العبد ١٩٧٠ فأنه يعتمد علي إحداثيات نظام ميريكاتور المستعرض العالمي UTM.

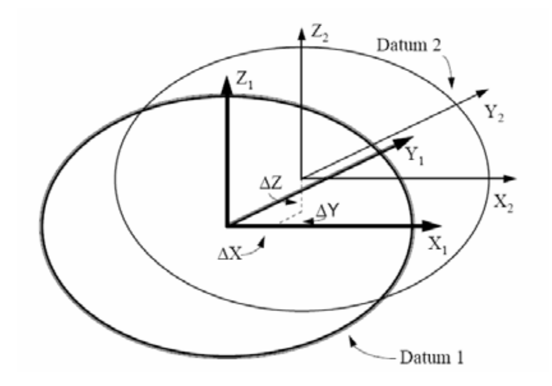
٢-٤-٨ التحويل بين المراجع:

إن تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة أصبح حلقة مهمة من حلقات العمل الجيوديسي في الآونة الأخيرة. فمع ازدياد التعاون التنموي و المشروعات المشتركة بين الدول المتجاورة ومع اختلاف المرجع الجيوديسي المستخدم في خرائط و قاعدة البيانات الجيوديسية لكل دولة ، أصبح لزاما توحيد الإحداثيات و الخرائط في مناطق الحدود ليمكن تنفيذ هذه المشروعات المدنية (مثل مد خطوط الكهرباء أو أنابيب نقل البترول أو إقامة الطرق). أيضا ومع انتشار تطبيقات التقنيات المساحية الحديثة (مثل الجي بي أس) ازدادت أهمية عملية التحويل بين المراجع. فكمثال: تعطي تقنية الجي بي أس إحداثيات النقاط المرصودة علي المجسم العالمي أو اليبسويد WGS84 فإذا أردنا توقيع هذه المواقع المرفوعة علي خرائط احدي الدول (التي تعتمد علي اليبسويد آخر أو مرجع جيوديسي محلي) فلا بد من تحويل هذه الإحداثيات من اليبسويد WGS84 إلي هذا الاليبسويد المحلي ، وإلا فأننا سنرتكب أخطاء قد تصل إلي مئات الأمتار عند توقيع هذه الإحداثيات دون تحويلها.

إن عملية التحويل (أي تحويل الإحداثيات) بين المراجع Datum Shift ليست جديدة في العمل الجيوديسي لكنها قد تمت دراستها منذ قرنين أو أكثر ، وقد تم ابتكار العديد من الحلول الرياضية لتنفيذها. وفي العقدين الأخيرين ظهرت طرق رياضية جديدة ربما تكون أكثر دقة من الطرق التقليدية القديمة.

٢-٤-٨-١ الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع:

لنبدأ بمثال توضيحي بسيط في حالة التحويل بين نظامي إحداثيات مختلفين لكنهما متوازيين (شكل ٢-٢٨). لاحظ أننا سنتعامل هنا مع نوع الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X,Y,Z) حيث أنها كإحداثيات طولية متعامدة ستكون أسهل من الإحداثيات الجغرافية (ϕ,λ,h) وحيث أن التحويل بين كلا نظامي الإحداثيات قد سبق تناوله في المعادلة (٢-٢).



شكل (٢-٢٨) التحويل بين مرجعين متوازيين

حيث أن محاور كلا نظامي الإحداثيات في كلا المرجعين متوازية فأن العلاقة بين المرجعين تتحدد بمعرفة موقع مركز المرجع الأول بالنسبة لموقع مركز المرجع الثاني ، أي تحديد فرق الإحداثيات بين موقع (أو إحداثيات) النقطة علي المرجع الأول وموقعها أو إحداثياتها علي المرجع الثاني. وهذا الفرق يتحدد من خلال ثلاثة مركبات $\Delta X,\ \Delta Y,\ \Delta Z$ (ينطق الحرف اللاتيني Δ دلتا) والتي تسمي عناصر النقل Translation Parameters:

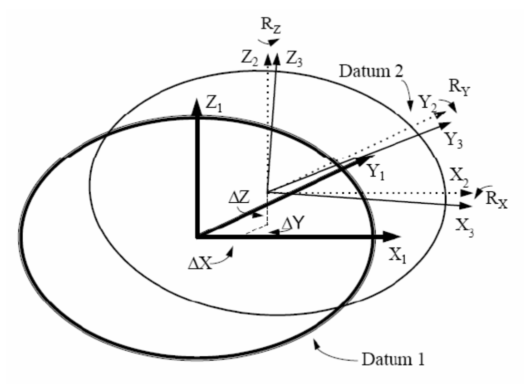
$$\Delta X = X2 - X1$$
$$\Delta Y = Y2 - Y1 \qquad (2\text{-}7)$$
$$\Delta Z = Z2 - Z1$$

فإذا علمنا إحداثيات نقطة واحدة علي المرجع الأول (X1,Y1,Z1) وإحداثياتها علي المرجع الثاني (X2,Y2,Z2) فيمكننا حساب فرق الإحداثيات باستخدام المعادلة السابقة. فإذا كان لدينا نقطة جديدة معلوم إحداثياتها علي المرجع الأول (X,Y,Z) فيمكن تحويلها إلي المرجع الثاني (X',Y',Z') بكل سهولة:

$$X' = X + \Delta X$$
$$Y' = Y + \Delta Y \qquad (2\text{-}8)$$
$$Z' = Z + \Delta Z$$

أي أن كل ما نحتاج إليه في هذه الحالة (الفرض بأن المرجعين متوازيي المحاور) هو معرفة إحداثيات نقطة واحدة علي الأقل في كلا النظامين.

لكن الحالة العامة للعلاقة بين أي مرجعين أو البسويدين أن وضعهما لن يكون متوازي المحاور، بل أن محاور أحدهما ستكون مائلة علي محاور الآخر. كما أن حجم الاليبسويد الأول ليس بالضرورة أن يكون مساويا لحجم الاليبسويد الثاني. وبالتالي فبدلا من وجود ثلاثة عناصر فقط مطلوب تحديدهم $(\Delta X,\ \Delta Y,\ \Delta Z)$ كما في الحالة البسيطة السابقة فسينتج لدينا ٤ عناصر أخري: ثلاثة لتحديد فروق الميل بين المحاور الثلاثة في كل مرجع وتسمي عناصر الدوران Rotation Parameters ، بالإضافة لعنصر يحدد فرق الحجم بين كلا المرجعين ويسمي معامل القياس scale factor (شكل ٢-٢٩).



شكل (٢-٢٩) التحويل بين أي مرجعين

وكما نري في هذا الشكل سنجد أن العناصر الجديدة المطلوبة هي:

- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري X في كلا المرجعين ، ونرمز لها Rx
- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Y في كلا المرجعين ، ونرمز لها Ry
- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Z في كلا المرجعين ، ونرمز لها Rz
- بالإضافة للعنصر الرابع scale factor الذي يحدد فرق معامل القياس بين كلا المرجعين ونرمز له عادة بالرمز s.

أي أننا لتحديد العلاقة الفراغية (المكانية) بين أي مرجعين في الحالة العامة يلزمنا تحديد ٧ عناصر (ΔX, ΔY, ΔZ, Rx, Ry, Rz, s) وهي ما نطلق عليها اسم عناصر التحويل Transformation Parameters بين المراجع الجيوديسية. وفي هذه الحالة لا يمكننا الاعتماد علي توافر نقطة واحدة فقط معلومة (كما في الحالية البسيطة السابقة) لكن يلزمنا وجود ٣ نقاط – علي الأقل – معلوم إحداثياتهم في كلا المرجعين. فإذا كان لدينا معلومات لأكثر من ٣ نقاط زادت دقة الحل المطلوب لتحديد عناصر التحويل السبعة ، كما أن دقة تحديد العناصر تعتمد علي دقة إحداثيات النقاط المعلومة في كلا المرجعين. وهذين السببين وراء وجود أكثر من مجموعة منشورة و معلنة من عناصر التحويل بين مرجعين محددين ، فمعادلات التحويل ثابتة لكن عدد و جودة البيانات المستخدمة في الحساب ستؤدي لقيم متفاوتة لعناصر التحويل بين نفس المرجعين.

توجد عدة نماذج من المعادلات التي تسمح بالتحويل بين المراجع المختلفة و من أشهر هذه النماذج نموذج بورسا-وولف Bursa-Wolf ونموذج مولودينسكس-بادكس Molodenskii-Badekas. وتتمثل معادلات نموذج بورسا-وولف في:

$$\begin{vmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix} + s \begin{vmatrix} 1 & Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & Rx \\ Ry & -Rx & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{vmatrix} \qquad (2\text{-}9)$$

حيث X1,Y1,Z1 تمثل إحداثيات النقطة في المرجع الأول ، X2,Y2,Z2 تمثل إحداثيات النقطة في المرجع الثاني ، ΔX, ΔY, ΔZ تمثل عناصر الانتقال بين المرجعين ، Rx, Ry, Rz تمثل زوايا الدوران أو عناصر الدوران بين المرجعين ، ويمثل s معامل القياس بينهما. أما نموذج مولودينسكس-بادكس فيضيف ٣ عناصر أخري (X_o, Y_o, Z_o) تتمثل في إحداثيات نقطة افتراضية يتم عندها دوران المحاور.

كما يمكن أن تتم عملية تحويل المراجع باستخدام الإحداثيات الجغرافية ، والمعادلات التالية تقدم طريقة التحويل من أي مرجع محلي إلي مرجع WGS84 العالمي المستخدم في أرصاد تقنية الجي بي أس:

$$\phi_{84} = \phi_L + \Delta\phi$$
$$\lambda_{84} = \lambda_L + \Delta\lambda \qquad (2\text{-}10)$$
$$h_{84} = h_L + \Delta h$$

حيث $\phi_{84}, \lambda_{84}, h_{84}$ تمثل الإحداثيات علي مجسم WGS84 ، ϕ_L, λ_L, h_L تمثل الإحداثيات علي المجسم المحلي.

$$\Delta\phi'' = \{ -\Delta X \sin\phi \cos\lambda - \Delta Y \sin\phi \sin\lambda + \Delta Z \cos\phi + \Delta a \,(R_N e^2 \sin\phi \cos\lambda) / a + \Delta f \,[R_M (a/b) + R_N (b/a)] \sin\phi \cos\lambda \} / ([R_M + h] \sin 1'') \qquad (2\text{-}11)$$

$$\Delta\lambda'' = [-\Delta X \sin\lambda + \Delta Y \cos\lambda] / [(R_N + h] \cos\phi \sin 1''] \qquad (2\text{-}12)$$

$$\Delta h = \Delta X \cos\phi \cos\lambda + \Delta Y \cos\phi \sin\lambda + \Delta Z \sin\phi - \Delta a \,(a/R_N) + \Delta f \,(b/a) R_N \sin^2\phi \qquad (2\text{-}13)$$

حيث:

a, b هما قيم نصف المحور الأكبر و نصف المحور الأصغر للمرجع المحلي ، f تفلطح المرجع المحلي ،

$\Delta a, \Delta f$ هما الفرق بين نصف المحور الأكبر و التفلطح لمرجع WGS84 ناقص القيم المماثلة للمرجع المحلي ،

$$f - ١ = a / b \qquad (2\text{-}14)$$
$$e^2 = 2f - f^2 \qquad (2\text{-}15)$$
$$R_N = a / (1 - e^2 \sin^2\phi)^{1/2} \qquad (2\text{-}16)$$
$$R_M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2\phi)^{3/2} \qquad (2\text{-}17)$$

توجد العديد من قيم عناصر التحويل المعلنة أو المنشورة وخاصة مع انتشار تطبيقات تقنية الجي بي أس التي تعتمد إحداثياتها علي المجسم العالمي WGS84. يقدم جدول (٢-٢) قيم عناصر التحويل من بعض المراجع الوطنية في الدول العربية إلي مرجع WGS84:

جدول (٢-٢) عناصر التحويل بين المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 والمراجع الجيوديسية المحلية

الدولة	المرجع الوطني	الاليبسويد	عدد النقاط المستخدمة	عناصر التحويل (بالمتر)		
				D X	D Y	D Z
السودان	Adindan	Clark 1880	٢٢	١٦٦- (٥)	١٥- (٥)	٢٠٤ (٣)
تونس	Carthage	Clark 1880	٥	٢٦٣- (٦)	٦ (٩)	٤٣١ (٨)
	European 1950	International 1924	٤	١١٢- (٢٥)	٧٧- (٢٥)	١٤٥- (٢٥)
المغرب	Merchich	Clark 1880	٩	٣١ (٥)	١٤٦ (٣)	٤٧ (٣)
الجزائر	North Sahara 1959	Clark 1880	٣	١٨٦- (٢٥)	٩٣- (٢٥)	٣١٠ (٢٥)
	Voirol 1960	Clark 1880	٢	١٢٣- (٢٥)	٢٠٦- (٢٥)	٢١٩ (٢٥)
مصر	Old Egyptian 1906	Helmert 1906	١٤	١٣٠- (٣)	١١٠ (٦)	١٣- (٨)
البحرين	Ain El Abd 1970	International 1924	٢	١٥٠- (٢٥)	٢٥٠- (٢٥)	١- (٢٥)
السعودية	Ain El Abd 1970	International 1924	٩	١٤٣- (١٠)	٢٣٦- (١٠)	٧ (١٠)
الإمارات	Nahrwan	Clark 1880	٢	٢٤٩- (٢٥)	١٥٦- (٢٥)	٣٨١ (٢٥)
عمان	Nahrwan	Clark 1880	٢	٢٤٧- (٢٥)	١٤٨- (٢٥)	٣٦٩ (٢٥)
	Oman	Clark 1880	٧	٣٤٦- (٣)	١- (٣)	٢٢٤ (٩)
قطر	Qatar National	International 1924	٣	١٢٨- (٢٠)	٢٨٣- (٢٠)	٢٢ (٢٠)
العراق والكويت و الأردن و ولبنان و سوريا	European 1950	International 1924	؟	١٠٣-	١٠٦-	١٤١-
تونس و الجزائر	Voirol 1874	Clark 1880	؟	٧٣-	٢٤٧-	٢٢٧

لكن يجب مراعاة الملاحظات التالية علي قيم هذا الجدول:

١. قيم العناصر المذكورة هي للتحويل من المرجع المحلي إلي مرجع WGS84 وللتحويل من WGS84 إلي المرجع المحلي يجب عكس جميع الإشارات الجبرية (موجب بدلا من سالب و العكس).
٢. القيم المذكورة لثلاثة عناصر فقط (وليس سبعة) وبالتالي فهي أقل دقة.
٣. الجدول يوضح أيضا عدد نقاط الثوابت المساحية التي تم استخدامها في حساب هذه العناصر لكل مرجع محلي.
٤. العدد المذكور بين القوسين هو مؤشر للدقة المتوقعة لقيمة كل عنصر من عناصر التحويل.
٥. القيم في آخر سطرين من الجدول تم حسابها بطرق أخري بخلاف رصد نقاط ثوابت مساحية وبالتالي فأن قيم الدقة المتوقعة غير متاحة.

منذ سنوات عديدة يقوم الباحثون الجيوديسيون في كل دولة بحساب قيم عناصر التحويل كلما توفرت لديهم بيانات نقاط جيوديسية معلوم إحداثياتها في كلا المرجعين (المحلي و WGS84). وتختلف دقة عناصر التحويل من دراسة لآخري طبقا لعدد النقاط المعلومة و توزيعها ودقة إحداثياتها المستخدمة في حساب عناصر التحويل ، وذلك بهدف الوصول لأدق قيم لهذه العناصر مما يسهل عملية تحويل إحداثيات الجي بي أس إلي المراجع الوطنية المستخدمة في إنتاج الخرائط لكل دولة. علي سبيل المثال توجد العديد من قيم عناصر التحويل المنشورة في جمهورية مصر العربية منهم العناصر التالية (لكلا من الدكتورة دلال النجار والدكتور جمعة داود) للتحويل من WGS84 إلي هلمرت ١٩٠٦:

ΔX = 125.547 ± 0.41 m
ΔY = -113.943 ± 0.41 m
ΔZ = 10.880 ± 0.41 m
Rx = -1.434 ± 0.23 "
Ry = -1.073 ± 0.42 "
Rz = 5.088 ± 0.43 "
s = -5.4606 ± 1.08 ppm (part per million)
X_0 =4810523.5586 m
Y_0 =2925116.9363 m
Z_0 =2962668.8097 m

كما توجد قيم أخري نشرت حديثا للتحويل من هلمرت ١٩٠٦ إلي WGS84 - للدكاترة أحمد شاكر و عبد الله سعد و مني سعد وعمرو حنفي - وتتكون من:

ΔX = -88.832 ± 0.02 m
ΔY = 186.714 ± 0.03 m
ΔZ = 151.82 ± 0.01 m
Rx = -1.305 ± 2.21 "
Ry = 11.216 ± 1.57 "
Rz = -6.413 ± 1.84 "
s = -6.413 ± 1.84 ppm (part per million)

أيضا توجد قيم منشورة لعناصر التحويل في السودان (للتحويل من اليبسويد Adindan إلي WGS84) باستخدام نموذج مولودينسكي وتتكون من:

$\Delta X = -146.0 \pm 0.89$ m
$\Delta Y = -33.5 \pm 0.89$ m
$\Delta Z = 205{,}3 \pm 89$ m
$Rx = -1.64 \pm 1.87$ "
$Ry = 2.18 \pm 1.87$ "
$Rz = -14.8 \pm 2.6$ "
$s = -1.34 \pm 1.35$ ppm (part per million)

أما في المملكة العربية السعودية (وتحديدا مكة المكرمة) فأن عناصر التحويل من WGS1984 إلي مرجع عين العبد ١٩٧٠ - باستخدام نموذج مولودينسكي - فتتكون من (من حسابات الدكاترة جمعة داود و معراج مرزا و خالد الغامدي بمؤتمر FIG في عام ٢٠١١م) :

Xo = 4559545.892 m
Yo = 3808252.221 m
Zo = 2314350.329 m
$\Delta X = 41.650$ m
$\Delta Y = 286.321$ m
$\Delta Z = 89.132$ m
Rx = -1.91577 "
Ry = 10.28662 "
Rz = -14.08571 "
s = -7.1256 ppm (part per million)

كما يمكن تحويل الإحداثيات من مرجع عين العبد ١٩٧٠ (المعروف أيضا باسم NGN) إلي المرجع الجيوديسي السعودي الجديد SGD2000 باستخدام المعادلات التالية (للدكتور رمضان ينار، ١٤٣٠هـ):

$\Delta X = -61.15$ m
$\Delta Y = -315.86$ m
$\Delta Z = -3.51$ m
Rx = -3.52 "
Ry = 0.74 "
Rz = 0.41 "
s = 1.36 ppm (part per million)

أيضا توجد بعض المحاولات العلمية لتبسيط حسابات تحويل الإحداثيات من نظام إحداثيات و مرجع جيوديسي إلي نظام و مرجع آخر، فبعض التطبيقات الخرائطية و عمليات تجميع البيانات لا تحتاج للدقة العالية التي توفرها المعادلات السابقة. في مدينة جدة بالمملكة العربية السعودية – علي سبيل المثال – قامت أمانة المدينة باستنباط معادلتين بسيطتين لتحويل الإحداثيات من

نظام UTM الشريحة Q37 علي المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 (مرجع قياسات تقنية GPS) إلي نظام إحداثيات خرائط الأمانة:

س٢ = س١ - ١٩٦.٥٦٠ متر

ص٢ = ص١ - ٩٨.١٧٨ متر

حيث:
س٢ : الاحداثي الشرقي X - بالمتر - في نظام إحداثيات خرائط أمانة جدة.
ص٢ : الاحداثي الشمالي Y - بالمتر - في نظام إحداثيات خرائط أمانة جدة.
س١ : الاحداثي الشرقي X - بالمتر - في نظام UTM علي المرجع العالمي WGS84.
ص١ : الاحداثي الشمالي Y - بالمتر - في UTM علي المرجع العالمي WGS84.

كما توجد معادلات مماثلة قام باستنباطها مجموعة من الباحثين بجامعة أم القرى (معراج مرزا و جمعة داود و خالد الغامدي) لتحويل الإحداثيات الجغرافية من نظام UTM بالشريحة Q37 علي المرجع العالمي WGS84 إلي نظام UTM علي المرجع السعودي المحلي (عين العبد ١٩٧٠) لمدينة مكة المكرمة:

س٢ = س١ - ١٩٩.٢٢٤ متر

ص٢ = ص١ – ١١٢.٣٦٣ متر

حيث:
س٢ : الاحداثي الشرقي X - بالمتر – في نظام UTM علي المرجع المحلي عين العبد.
ص٢ : الاحداثي الشمالي Y - بالمتر – في نظام UTM علي المرجع المحلي عين العبد.
س١ : الاحداثي الشرقي X - بالمتر - في نظام UTM علي المرجع العالمي WGS84.
ص١ : الاحداثي الشمالي Y - بالمتر - في UTM علي المرجع العالمي WGS84.

٢-٤-٨-٢ الطرق غير التقليدية للتحويل بين المراجع:

عابت الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع الجيوديسية عدة نقاط تقلل من دقة عناصر التحويل التي يتم حسابها باستخدام هذه الطرق. أهم هذه العيوب أن نظريات تطوير هذه النماذج الرياضية تعتمد علي فرضية أن إحداثيات النقاط المعلومة في كلا المرجعين – المطلوب التحويل بينهما – هي إحداثيات دقيقة تماما و خاليا من أي مصدر من مصادر الأخطاء Error-Free. لكن هذا الوضع غير صحيح تماما ، فمن المعروف أن معظم الشبكات الجيوديسية المحلية بها عيوب عديدة من وجهة النظر التقنية نظرا لان معظم هذه الشبكات قد تم إقامتها في النصف الأول من القرن العشرين أو قبل ذلك حيث لم تكن الأجهزة المساحية بلغت مرحلة عالية من الدقة قبل بدء ثورة الملاحة بالأقمار الصناعية. كما أن عدم وجود حاسبات آلية متطورة في ذلك الوقت أدي لإتمام العمليات الحسابية و ضبط الشبكات بطريقة غير دقيقة بنسبة كبيرة. ذلك بالإضافة إلي أن دقة الشبكات الجيوديسية في أي مرجع وطني تختلف من منطقة جغرافية لأخري (حيث لم يمكن تغطية دولة كاملة بشبكات جيوديسية إلا مع مرور بضعة سنوات) وهذا أيضا يعد العامل الثالث الذي لا تأخذه الطرق التقليدية في الاعتبار. وإذا أخذنا مصر كمثال فسنجد أن دقة الإحداثيات الجيوديسية لشبكات المثلثات الوطنية ذات الدرجة الأولي كانت أكبر

من ٠.٥ متر ، وهذه دقة متواضعة عند مقارنتها بدقة الإحداثيات الناتجة الآن من استخدام تقنية الجي بي أس والتي قد تصل إلي سنتيمترات وأحيانا ملليمترات. وبالتالي فأن استخدام الطرق التقليدية لحساب عناصر التحويل بين مرجع WGS84 – علي سبيل المثال - وأي مرجع محلي سيؤدي للحصول علي دقة ديسيمترات عند حساب عناصر التحويل بين هذين المرجعين. ومن هنا بدأ منذ سنوات البحث عن طرق جديدة غير تقليدية لتحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية ، أو البحث عن وسائل جديدة تتيح زيادة دقة النماذج الرياضية التقليدية. وهناك العشرات من الطرق والوسائل التي تم تطويرها في هذا المجال و سنستعرض هنا البعض منهم.

أولي هذه الطرق غير التقليدية هو تمثيل الفروق بين الإحداثيات علي المرجعين فراغيا spatial representation في صورة نموذج رياضي يغطي منطقة جغرافية معينة. وأهم ما يميز هذا الأسلوب أنه يستخدم الإحداثيات علي كلا المرجعين (للنقاط المشتركة) كما هي وبالتالي فأن قيمة الفروق ستتغير من مكان جغرافي لآخر داخل المنطقة المطلوبة ولن تكون العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين علاقة ثابتة علي امتداد هذه المنطقة كما كان الحال في الطرق التقليدية. وطبقت وزارة الدفاع الأمريكية هذا المبدأ في استنباط ما يسمي سطوح التحويل conversion surfaces بين مرجع WGS84 والمراجع الجيوديسية الوطنية لمعظم دول العالم. وتختلف طرق تمثيل الفروق باختلاف النماذج الرياضية المستخدمة ، وتعد طريقة ذات الحدود polynomial أكثر النماذج تطبيقا ، مع اختلاف عدد المعاملات في المتوالية الرياضية والتي تعتمد علي كم النقاط المشتركة المتاحة وذلك بتطبيق مبدأ الانحدار المتعدد Multiple Regression. تم تطبيق هذا الأسلوب في مصر لاستنباط معادلات رياضية وسطح تحويل بين مرجعي WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ وكانت النتائج كالتالي (شكل ٢-٣٠ و ٢-٣١):

$$\Delta\phi'' = -320.474 + 30.6751\ \phi_{84} + 3.0402\ \lambda_{84} - 1.7380\ \phi^2_{84} + 0.0436\ \phi^3_{84} - 0.0004\ \phi^4_{84} - 0.1056\ \lambda^2_{84} + 0.0012\ \lambda^3_{84} \quad (2\text{-}18)$$

$$\Delta\lambda'' = 4357.7294 - 734.6377\ \lambda_{84} + 49.4639\ \lambda^2_{84} - 0.1705\ \phi_{84} - 1.6600\lambda^3_{84} + 0.0278\ \lambda^4_{84} + 0.0037\ \phi^2_{84} - 0.0002\ \lambda^5_{84} \quad (2\text{-}19)$$

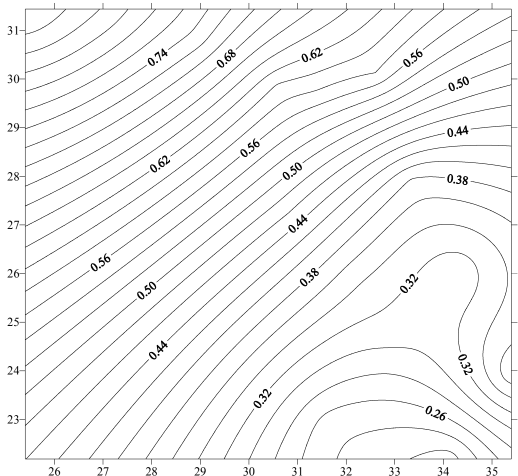
حيث $\Delta\phi$ و $\Delta\lambda$ هما الفرق بالثواني في دوائر العرض و خطوط الطول – بالترتيب – بين المرجعين ، و ϕ_{84} , λ_{84} هما الإحداثيات الجغرافية علي مجسم WGS84.

ومن ثم يمكن تحويل الإحداثيات الجغرافية إلي المرجع المحلي المصري هلمرت ١٩٠٦ من خلال:

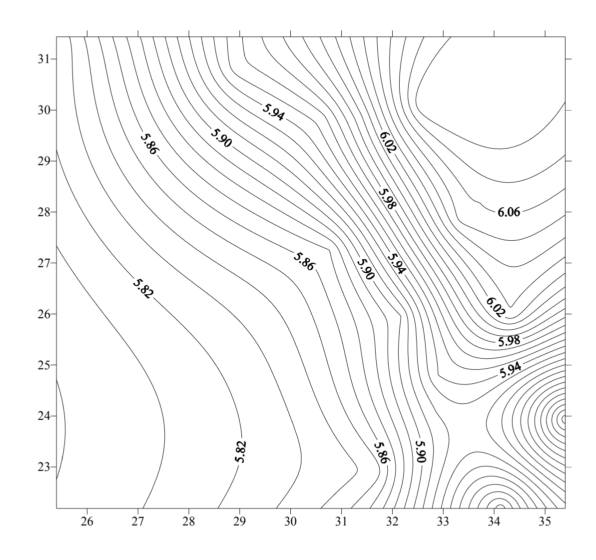
$$\phi_{OED} = \phi_{84} + \Delta\phi \quad (2\text{-}20)$$

$$\lambda_{OED} = \lambda_{84} + \Delta\lambda \quad (2\text{-}21)$$

حيث λ_{OED} , ϕ_{OED} هما الإحداثيات الجغرافية علي مجسم هلمرت ١٩٠٦. هذا وقد أثبتت نتائج اختبار هذا الأسلوب علي نقاط تحكم check points جيوديسية في مصر أن دقة الأسلوب الجديد (عند حساب الإحداثيات الوطنية المحلية) تقدر بحوالي ٠.٥ متر مقارنة بدقة حوالي ٣.٠ متر للطريقة التقليدية. كما تم تقديم مقترح باستخدام هذا الأسلوب غير التقليدي و تطبيقه في سوريا.



شكل (٢-٣٠) سطح تحويل دوائر العرض بين WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ في مصر



شكل (٢-٣١) سطح تحويل خطوط الطول بين WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ في مصر

طريقة أخري من الطرق غير التقليدية في التحويل بين المراجع تعتمد علي استخدام أوزان مختلفة Different Weights لإحداثيات النقاط المشتركة المستخدمة في تقدير عناصر التحويل بين المرجعين. المبدأ الأساسي وراء هذا الأسلوب هو أن دقة إحداثيات النقاط المشتركة ستختلف من نقطة لآخري وبالتالي يجب تحديد وزن محدد يتناسب مع دقة كل نقطة وذلك أثناء تطبيق أي نموذج من النماذج التقليدية (مثل نموذج بورسا - وولف) ، أي أن هذا الأسلوب هو تعديل للطريقة التقليدية بهدف زيادة جودتها في وصف العلاقة الرياضية بين مرجعين جيوديسين. كما تم أيضا تطبيق طريقة العنصر المحدد Finite Element كأحد الطرق غير التقليدية في التحويل بين المراجع الجيوديسية.

٢-٤-٨-٣ التحويل بين المراجع ثلاثية و رباعية الأبعاد:

في معظم التطبيقات المساحية و الخرائطية باستخدام تقنية الجي بي أس فأننا نحصل علي إحداثيات ثلاثية الأبعاد 3D علي الاليبسويد العالمي WGS84 الذي يمثل شكل و حجم الأرض. لكن في التطبيقات الجيوديسية عالية الدقة (مثل مراقبة تحركات القشرة الأرضية ومراقبة هبوط المنشئات الضخمة) لا نكتفي بالتعامل مع الإحداثيات ثلاثية الأبعاد كقيم ثابتة لكن نحتاج لإطار مرجعي رباعي الأبعاد (متغير مع الزمن) لتنسب له هذه الإحداثيات. وأفضل مرجع رباعي الأبعاد هو الإطار المرجعي الأرضي العالمي ITRF كما تناولنا سابقا في ٢-٤-٤. وتجدر الإشارة لوجود عدة تعريفات لاليبسويد WGS84 إلا أن آخر تعديل له هو المسمي G730 هو المستخدم في استنباط إحداثيات الجي بي أس ، وهذا التعديل متوافق مع إطار ITRF92 في حدود ١٠ سم. أما لتحويل الإحداثيات من اليبسويد WGS84(G730) إلي ITRF بتعريفاته الأحدث نستخدم المعادلات التالية[١]:

$$\begin{bmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \qquad (2\text{-}22)$$

حيث X, Y, Z تمثل الإحداثيات علي إطار ITRF2000 و XS, YS, ZS تمثل الإحداثيات علي WGS84.

ولحساب قيمة أي عنصر P عند الزمن t فأننا نستخدم المعادلة:

$$P(t) = P(EPOCH) + P' (t - EPOCH) \qquad (2\text{-}23)$$

حيث EPOCH هي سنة تعريف إطار ITRF المطلوب ، 'P تمثل معدل تغير هذا العنصر.

أولا: التحويل من ITRF2000 إلي ITRF92:

T1 = 1.47 cm, rate = 0.00 cm/year
T2 = 1.35 cm, rate = - 0.06 cm/year
T3 = -1.39 cm, rate = - 0.14 cm/year
D = 0.75 ppb, rate = 0.01 ppb/year (ppb = part per billion)
R1 = 0.00 " , rate = 0.00 "/year
R2 = 0.00 " , rate = 0.00 "/year
R3 = - 0.0018 " , rate = 0.0002 "/year
EPOCH = 1988.0

[1] International Terrestrial Reference Frame (ITRF) website at: http://itrf.ensg.ign.fr/

ثانيا: التحويل من ITRF2005 إلي ITRF2000:

T1 = 0.1 mm, rate = -0.2 mm/year
T2 = -0.8 mm, rate = 0.1 mm/year
T3 = -5.8 mm, rate = - 1.8 mm/year
D = 0.4 ppb, rate = 0.08 ppb/year (ppb = part per billion)
R1 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year
R2 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year
R3 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year
EPOCH = 2000.0

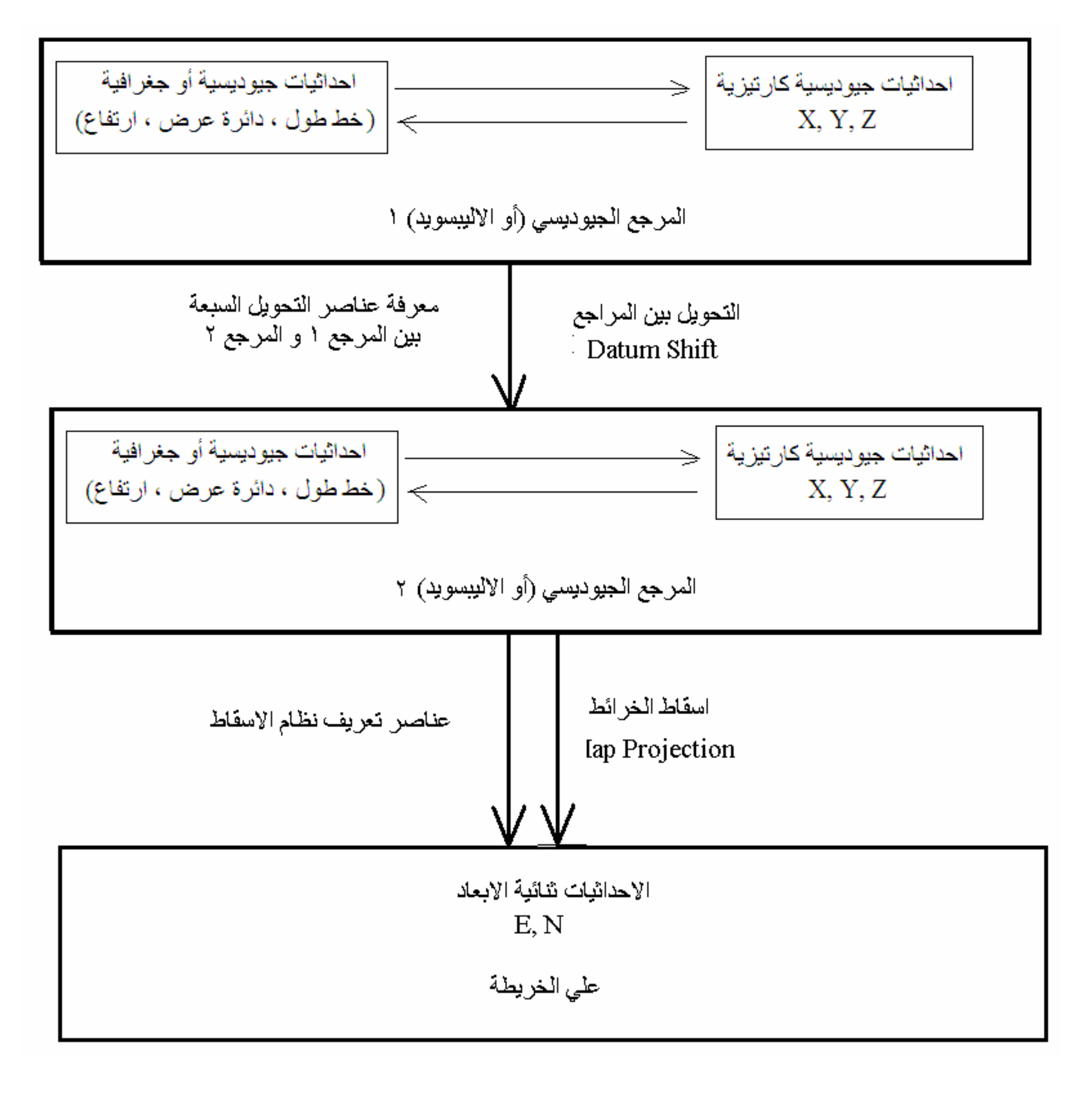
كما توجد قيم منشورة لعناصر التحويل بين كل تعريفات ITRF في السنوات الأخيرة.

٢-٤-٩ العلاقة بين تحويل المراجع و إسقاط الخرائط:

قد يساور البعض لبسا كبيرا في خطوات تحويل الإحداثيات التي تقيسها علي الطبيعة إلي تلك الموقعة علي الخريطة ، وعلي الجانب الآخر فقد يظن البعض أن أجهزة تقنيات تحديد المواقع (مثل الجي بي أس) ليس بها أي خطأ وأن ما تنتجه من إحداثيات دقيق تماما ! ومن هنا سنحاول أن نلخص – في خطوات مختصرة – ما قمنا بعرضه من أفكار في هذا الفصل (شكل ٢-٣٢).

- تتيح لنا تقنيات جيوديسيا الأقمار الصناعية تحديد المواقع علي سطح الأرض ، لكن بالاعتماد علي نموذج رياضي معين يمثل الأرض شكلا و حجما وهو الذي نطلق عليه اسم الاليبسويد.
- كل نوع من الإحداثيات المرصودة يكون منسوبا لاليبسويد محدد ، فمثلا إحداثيات تقنية الجي بي أس تكون منسوبة للمجسم العالمي أو اليبسويد WGS84.
- سواء كانت الإحداثيات من النوع الجغرافي أو الجيوديسي (خط الطول ϕ ودائرة العرض λ و الارتفاع الجيوديسي h) أو الإحداثيات الكارتيزية (X, Y, Z) فيمكن تحويل أي نوع للآخر (المعادلات ٢-٢ و ٢-٥) لكننا مازلنا علي نفس الاليبسويد.
- لكل دولة اليبسويد معتمد قد تم تعديله ليناسبها (أصبح أسمه مرجع وليس اليبسويد) يختلف من دولة لآخري ، وهو المرجع الذي تستخدمه الدولة في إنتاج خرائطها.
- لا يمكن توقيع الإحداثيات المنسوبة لاليبسويد عالمي (مثل إحداثيات الجي بي أس المنسوبة إلي WGS84) مباشرة علي خرائط أي دولة وإلا فأننا نتوقع خطأ في التوقيع قد يصل إلي مئات الأمتار.
- يتم تحويل الإحداثيات من اليبسويد عالمي (مثل WGS84) إلي أي مرجع وطني أو محلي لدولة معينة من خلال معرفة عناصر التحويل السبعة (ΔX, ΔY, ΔZ, Rx, Ry, Rz, s) التي تصف العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين ، باستخدام المعادلة ٢-٨ مثلا.
- تختلف دقة حساب الإحداثيات علي المرجع المحلي باختلاف دقة عناصر التحويل المستخدمة ، وللأعمال المساحية البسيطة يمكن استخدام قيم عناصر التحويل الموجودة في جدول ٢-٢ ، إلا أنه يجب ملاحظة أنها قيم غير دقيقة تماما و لا تناسب المشروعات الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية حيث يجب البحث عن عناصر تحويل أكثر دقة.

- أما لتوقيع الإحداثيات الجيوديسية ثلاثية الأبعاد إلي إحداثيات ثنائية الأبعاد (الإحداثيات علي الخريطة) فسنستخدم أحدي طرق إسقاط الخرائط ، حيث يجب معرفة معاملات الإسقاط (مثلا ٥ معاملات لإسقاط ميريكاتور المستعرض: الاحداثي الشرقي الزائف ، الاحداثي الشمالي الزائف ، خط الطول المركزي ، دائرة العرض القياسية ، معامل القياس) لكل طريقة. وحيث أن المرجع الجيوديسي و نظام إسقاط الخرائط يختلف من دولة لأخرى فأن معاملات الإسقاط أيضا ستختلف من خرائط دولة لأخرى.
- أي أننا في النهاية وللوصول إلي الإحداثيات علي الخريطة نحتاج لمعرفة ١٢ عنصر (وأحيانا أكثر أو أقل): ٧ عناصر تحويل الإحداثيات بين المراجع ، ٥ عناصر (أو أكثر) لتعريف نظام الإسقاط.
- أخيرا يجب ملاحظة أن الارتفاع المقاس بتقنية الجي بي أس يكون منسوبا لسطح الاليبسويد العالمي WGS84 بينما الارتفاع المستخدم في الخرائط المساحية يكون منسوبا لمستوي متوسط سطح البحر MSL والفرق بينهما يسمي حيود الجيويد ، أي أنه يجب وجود نموذج جيويد Geoid Model لكي نحول ارتفاعات الجي بي أس إلي مناسيب تستخدم في الخرائط الطبوغرافية و التفصيلية وكافة المشروعات الهندسية المدنية (سنتحدث عن الجيويد لاحقا).



شكل (٢-٣٢) خطوات تحويل و إسقاط الإحداثيات

الفصل الثالث

الجيوديسيا الأرضية وشبكات الثوابت

تعد الثوابت الأرضية الجيوديسية من أهم تطبيقات علم الجيوديسيا حيث يتم بناء علامات أرضية ثابتة Terrestrial Control Points ثم إجراء القياسات والأرصاد الجيوديسية بهدف تحديد مواقع (إحداثيات) هذه النقاط بدقة لتكون مرجعا جيوديسيا أو مساحيا لكافة المشروعات المدنية داخل الدولة. كل مجموعة من هذه النقاط (معلومة الموضع في الطبيعة و معلومة الإحداثيات أيضا) تكون فيما بينها شبكة يطلق عليها اسم شبكة الثوابت الأرضية الجيوديسية Geodetic Control Networks.

٣-١ أنواع شبكات الثوابت الأرضية

يمكن تقسيم شبكات الثوابت الأرضية الجيوديسية بناءا علي عدد الإحداثيات المعلومة لكل نقطة من الشبكة إلي أربعة أنواع: شبكات الثوابت الأفقية ثنائية الأبعاد وشبكات الثوابت أحادية الأبعاد وشبكات الثوابت ثلاثية الأبعاد وشبكات الثوابت رباعية الأبعاد.

قديما ومع استخدام الأجهزة المساحية التقليدية (مثل جهاز الثيودليت) بإمكانياتها البسيطة كانت نقاط الثوابت الأرضية تقام علي رؤوس الجبال و المرتفعات ليسهل رصد الزوايا علي مسافات كبيرة ولم يكن من السهل رصد فروق المناسيب بين هذه النقاط المرتفعة. ومن هنا كانت هذه الشبكات تعد شبكات ثوابت أفقية فقط، أي أن الإحداثيات المعلومة لكل نقطة كانت في الأساس هي خط الطول و دائرة العرض. ومع أنه كان يتم حساب الارتفاع الجيوديسي لكل نقطة (الارتفاع عن سطح الاليبسويد) إلا أنه لم يكن مستخدما حيث أن نوع الارتفاع المستخدم في الخرائط و في مشروعات الهندسة المدنية هو المنسوب (الارتفاع عن مستوي سطح البحر). من هنا كانت تتم قياسات فروق المناسيب بين مجموعة من النقاط التي تحدد البعد الثالث (المنسوب) لشبكة جيوديسية أخري (تسمي شبكة الروبيرات) تغطي هذه الدولة. أي أن الشبكة الجيوديسية الرأسية أحادية البعد كانت منفصلة عن الشبكة الجيوديسية الأفقية ثنائية الأبعاد. أيضا تعد شبكات الجاذبية الأرضية من الشبكات الجيوديسية الأحادية الأبعاد حيث تكون قيمة الجاذبية الأرضية عند كل نقطة هي القيمة الأساسية للشبكة وليس من الضروري تحديد قيم الإحداثيات بدقة عالية. ومع دخول عصر جيوديسيا الأقمار الصناعية أصبح من الممكن تحديد الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع) لمجموعة من النقاط التي تكون شبكة جيوديسية ثلاثية الأبعاد تغطي الدولة. أما في حالة تحديد أربعة إحداثيات لكل نقطة من نقاط الشبكة (مثلا خط الطول و دائرة العرض و المنسوب و قيمة الجاذبية الأرضية) فأن الشبكة الجيوديسية تسمي شبكة رباعية الأبعاد. الأجزاء التالية تستعرض تفاصيل الشبكات الجيوديسية الأفقية والرأسية بينما سيتم تناول شبكات الجاذبية الأرضية والشبكات ثلاثية الأبعاد في الفصول القادمة.

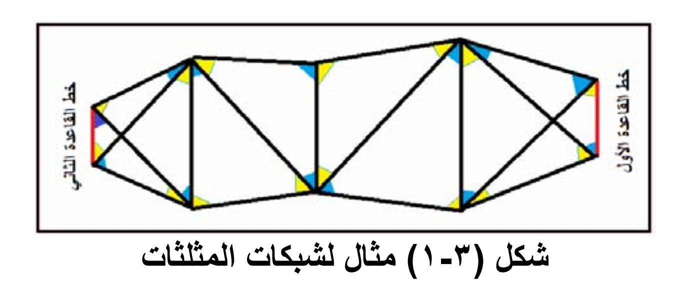
٣-٢ شبكات الثوابت الأرضية الأفقية (شبكات المثلثات)

بدأت الدول في إنشاء شبكات من نقاط الثوابت الأرضية وتحديد إحداثيات كل نقطة منها لتكون مرجعا أساسيا لكل أعمال المساحة و الخرائط في كل دولة. وكانت الشبكات الجيوديسية تغطي كل أرجاء الدولة أو علي الأقل الجزء المعمور منها، ولذلك تتميز الشبكات الجيوديسية بالمسافات الكبيرة نسبيا بين كل نقطة و أخري. تعتمد شبكات المثلثات Triangulation

Networks علي إنشاء نقاط تكون فيما بينها مثلثات يمكن رصد زواياه الداخلية باستخدام الثيودليت (من هنا جاء اسم شبكات المثلثات). ولحساب إحداثيات هذه النقاط يلزم تحديد أطوال و انحرافات أضلاع المثلثات (كما في الترافرسات). وحيث أن قياس أطوال أضلاع تصل إلي عشرات الكيلومترات لم يكن متاحا قديما، فقد كان يتم إنشاء خط أساسي في بداية الشبكة (يسمي خط القاعدة Base Line) ويتم قياس طوله بكل دقة وكذلك يتم تحديد انحرافه من خلال الأرصاد الفلكية، ثم يستخدم هذا الخط مع قياسات زوايا المثلث في حساب انحرافات وأطوال أضلاع باقي أضلاع الشبكة. وفي نهاية الشبكة يتم إنشاء خط قاعدة آخر (ويتم قياس طوله و انحرافه أيضا) بحيث يكون تحقيقا للحسابات وإمكانية تحديد أخطاء الشبكة (سواء في الرصد أو الحسابات) حتى يمكن ضبط الشبكة وضمان دقة الإحداثيات المحسوبة لنقاطها.

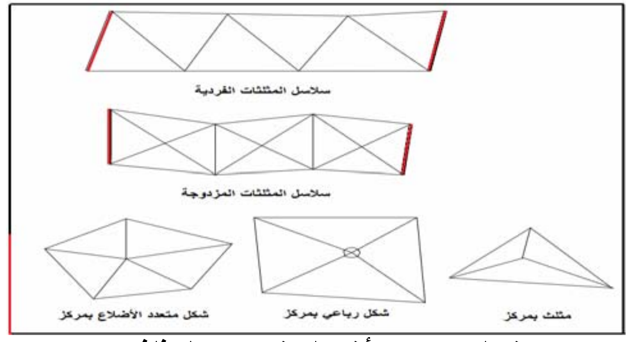
مع اختراع أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM أمكن قياس أطوال أضلاع الشبكة مما أدي لتطوير نوع آخر من الشبكات الجيوديسية مقاسة الأضلاع فقط Trilateration Networks، وأيضا نوع ثالث يسمي الشبكات المزدوجة Hybrid Networks التي كان يقاس فيها الزوايا و أطوال الأضلاع معا. لكن دقة شبكات المثلثات كانت أعلي من دقة الشبكات المقاسة الأضلاع وان كانت الأخيرة أسهل و أسرع في العمل الحقلي.

أما حساب الإحداثيات المسقطة Projected Coordinates أو (س،ص) علي الخرائط فكان يبدأ من نقطة تسمي نقطة الأساس Laplace Station، وهي نقطة غالبا تكون أحد طرفي خط قاعدة وتقاس عندها إحداثياتها الفلكية (خط الطول ودائرة العرض) وكذلك انحراف خط القاعدة هذا. فعلي سبيل المثال فأن نقطة الأساس التي بنيت عليها شبكات المثلثات في جمهورية مصر العربية كانت هي نقطة الزهراء F1 والتي تقع فوق جبل المقطم بالقاهرة وكانت طرف من طرفي خط قاعدة سقارة.



شكل (٣-١) مثال لشبكات المثلثات

أما من حيث الشكل فأن أشكال شبكات المثلثات تتراوح بين: سلاسل المثلثات الفردية، سلاسل الأشكال الرباعية، سلاسل الأشكال ذات المركز ومنها المثلث بنقطة مركزية و الشكل الرباعي المركزي وأشكال متعدد الأضلاع بنقطة مركزية، الأشكال المتداخلة.



شكل (٣-٢) أشكال شبكات المثلثات

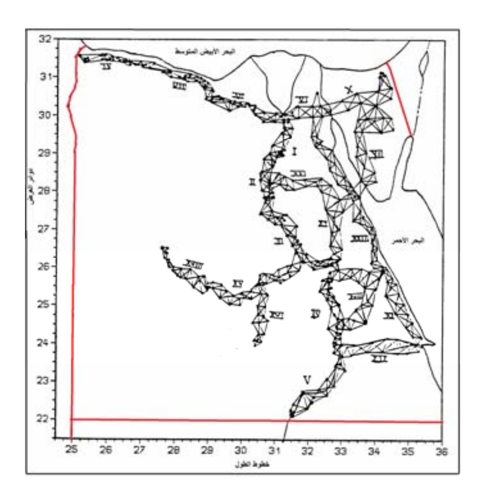
٣-٢-١ درجات شبكات المثلثات

تقسم شبكات المثلثات من حيث دقتها إلي أربعة درجات وهي:

(أ) شبكات مثلثات الدرجة الأولي:

تسمى أيضا المثلثات الجيوديسية لأنها أدق أنواع المثلثات وتتراوح أطوال أضلاعها بين ٤٠ و ٥٠ كيلومتر في مصر بينما يؤخذ طول خط القاعدة في حدود ١٠ كيلومتر. والمثلثات الجيوديسية هي التي تبنى عليها باقي درجات المثلثات الأخرى ولذلك يجب مراعاة أقصى درجات الدقة في إجراء قياسات وحسابات هذا النوع من شبكات المثلثات. ويكون متوسط الخطأ المسموح به في قفل المثلث ١" بينما الحد الأقصى لقفل المثلث لا يزيد عن ٣". وبالنسبة لقياس طول خط القاعدة فان الخطأ النسبي المسموح به لا يزيد عن ١: ١,٠٠٠,٠٠٠ ويتم رصد الزوايا بعدد ١٢ قوس باستخدام ثيودليت دقة ١" حيث يكون الحد الأقصى للخطأ المسموح به في أي قوس لا يزيد عن ٢". كما يجب ألا يزيد متوسط قفل الأفق لعدد ٨-١٢ قوس أقل من ٦".

بدأ إنشاء شبكة المثلثات الجيوديسية المصرية في بداية القرن العشرين وبالتحديد في عام ١٩٠٧ ، وكان الهدف الرئيسي هو إنشاء نظام خرائط يغطى المناطق الزراعية في الدلتا ووادي النيل لخدمة أغراض الرى. وتم الانتهاء من الشبكة الأولى التي تتكون من عشرة حلقات في عام ١٩٤٥ . وتنقسم هذه الشبكة إلي خمسة حلقات تغطى الدلتا ووادي النيل حتى أدندان على الحدود المصرية السودانية بينما الحلقات الخمسة الأخرى تغطى مناطق السواحل الشمالية من العريش وحتى السلوم. وتم إنشاء الشبكة الثانية في الفترة من عام ١٩٥٥ إلى عام ١٩٦٨ وتكونت من ثلاثة عشر حلقة : خمسة حلقات في الصحراء الشرقية ، خمسة حلقات على سواحل البحر الأحمر ، ثلاثة حلقات في الصحراء الغربية.



شكل (٣-٣) شبكة المثلثات الجيوديسية (الدرجة الأولى) في مصر

(ب) شبكات مثلثات الدرجة الثانية:

ويتم إنشاؤها وربطها على الدرجة الأولى وهى أقل منها في الدقة وأطوال الأضلاع حيث تتراوح أطوال أضلاعها بين ١٠ و ٤٠ كيلومتر (بمتوسط ٢٥ كيلومتر) بينما يكون طول خط

القاعدة في حدود ٢-٥ كيلومتر٠ ويكون متوسط الخطأ المسموح بـه في قفل المثلث ٣" بينما الحد الأقصى لقفل المثلث لا يزيد عن ٥"٠ وبالنسبة لقياس طول خط القاعدة فان الخطأ النسبي المسموح به لا يزيد عن ١: ٥٠٠,٠٠٠ ويتم رصد الزوايا بعدد ٨ أقواس باستخدام ثيودليت دقة ١٠" حيث يكون الحد الأقصى للخطأ المسموح به في أي قوس لا يزيد عن ٦"٠ كما يجب ألا يزيد متوسط قفل الأفق لعدد ٦ أقواس أقل من ٢,٥ "٠

(ج) شبكات مثلثات الدرجة الثالثة:

ويتم إنشاؤها وربطها على الدرجة الأولى والثانية بغرض تقسيم المنطقة وتكثيف النقط٠ وتتراوح أطوال أضلاعها بين ٥ و ٨ كيلومتر في الأرياف ، وبين ١ و ٣ كيلومتر في المدن٠ و يكون طول خط القاعدة في حدود ٠,٥ -٣ كيلومتر ويكون متوسط الخطأ المسموح به في قفل المثلث ٥" بينما الحد الأقصى لقفل المثلث لا يزيد عن ١٠"٠ وبالنسبة لقياس طول خط القاعدة فان الخطأ النسبي المسموح به لا يزيد عن ١: ٢٠٠,٠٠٠ ويتم رصد الزوايا بعدد ٤ أقواس باستخدام ثيودليت دقة ٢٠" حيث يكون الحد الأقصى للخطأ المسموح به في أي قوس لا يزيد عن ١٥"٠ كما يجب ألا يزيد متوسط قفل الأفق لعدد ٤ أقواس أقل من ٥ "٠

(د) شبكات مثلثات الدرجة الرابعة:

وتستعمل في الأراضي الجبلية أو عندما يراد إنشاء نقط مثلثات جديدة وتنشأ بالربط على الدرجة الثالثة٠ وهذا النوع من المثلثات هو أقل الدرجات دقة وتختار أطوال أضلاعها طبقا لظروف وطبيعة الارض٠ وفى الأراضي المستوية نستعيض عن مثلثات الدرجة الرابعة بالترافرسات الدقيقة ويكون متوسط الخطأ المسموح به في قفل المثلث ١٢" بينما الحد الأقصى لقفل المثلث لا يزيد عن ٣٠"٠ وبالنسبة لقياس طول خط القاعدة فان الخطأ النسبي المسموح به لا يزيد عن ١: ١٠٠,٠٠٠ ويتم رصد الزوايا بعدد قوسين٠

الجدول التالي يعرض – علي سبيل المثال - بعض مواصفات الشبكات الجيوديسية المستخدمة في مصر:

	الدرجة الأولي	الدرجة الثانية		الدرجة الثالثة	
		فئة ١	فئة ٢	فئة ١	فئة ٢
الدقة النسبية بين النقاط	١٠٠٠٠٠/١	٥٠٠٠٠/١	٢٠٠٠٠/١	٥٠٠٠/١	
المسافة بين النقاط (كم)	٢٥-١٥٠	١٠-٧٠	٥-٧٠	طبقا للحاجة	
دقة قياس خطوط القواعد	١٠٠٠٠٠٠/١	٩٠٠٠٠٠/١	٨٠٠٠٠٠/١	٥٠٠٠٠٠/١	٢٥٠٠٠٠/١
خطأ قفل المثلث	١-٣"	١.٢-٣"	٢-٥"	٣-٥"	٥-١٠"
دقة القياسات الفلكية	٠.٤٥"	٠.٤٥"	٠.٦"	٠.٨"	٣.٠"
دقة جهاز قياس الزوايا الأفقية	٠.٢"	٠.٢"	٠.٢-١"	١"	١"
عدد مرات قياس الزاوية الأفقية	١٦	١٦	٨-١٢	٤	٢

الجدول التالي يعرض – علي سبيل المثال - بعض مواصفات الشبكات الجيوديسية المستخدمة في تطبيقات سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي:

الدرجة	قيمة الخطأ النسبي للنقطة في الشبكة الأفقية
الدرجة الثانية – فئة ١	١ : ٥٠ ٠٠٠
الدرجة الثانية – فئة ٢	١ : ٢٠ ٠٠٠
الدرجة الثالثة – فئة ١	١ : ١٠ ٠٠٠
الدرجة الثالثة – فئة ٢	١ : ٥ ٠٠٠
الدرجة الرابعة	من ١ : ٢٥٠٠ إلي ١ : ٢٠ ٠٠٠

٣-٢-٢ خطوات إنشاء شبكات المثلثات

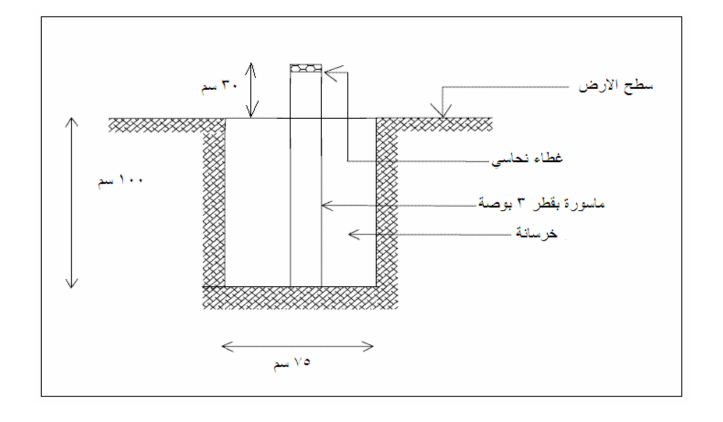
يعد الاستكشاف أول خطوة في إنشاء شبكة مثلثات وهو إن كان أشق عملية للمساحات الشاسعة إلا أن نجاح تشكيل الشبكة يعتمد علي دقة الاستكشاف. تهدف عملية الاستكشاف إلي اختيار مواقع نقاط المثلثات و مواقع خطوط القواعد وأيضا تحديد المعوقات (أية معوقات تمنع الرؤية وخط النظر بين النقاط) المطلوب إزالتها. يمكن الاعتماد علي الخرائط القديمة للمنطقة (أو المرئيات الفضائية الآن) في أعمال الاستكشاف و اختيار مواقع نقاط المثلثات.

عند اختيار مواقع نقاط المثلثات يجب مراعاة الآتي:

١. كل نقطة تري النقاط التي حولها بكل وضوح.
٢. أن تتراوح الزوايا بين أضلاع المثلثات (التي تكونها هذه النقاط) بين ٣٠ و ١٢٠ درجة بقدر الإمكان وتفضل المثلثات متساوية الأضلاع تقريبا.
٣. تجنب النقاط القريبة من سطح الأرض وذلك تفاديا لتأثير الانكسار الضوئي عند الرصد.
٤. اختيار مواقع النقاط في مواقع مرتفعة و مشرفة علي مناطق واسعة لسهولة رؤية الهدف من مسافات بعيدة.
٥. أن تكون مواقع النقاط في أماكن ثابتة غير معرضة للضياع أو للعبث بها.
٦. أن تكون أضلاع المثلثات متناسقة فلا توجد أضلاع طويلة جدا وأخري صغيرة جدا.
٧. أن تكون العقبات المراد إزالتها (تعيق خط النظر بين النقاط) أقل ما يمكن تفاديا لارتفاع تكلفة المشروع.

لإنشاء نقط المثلثات يتم بناء مواقع النقاط بعلامات خاصة تدل على النقطة وتساعد في سهولة الوصول اليها٠ وتختلف هذه العلامات طبقا لدرجة نقط المثلثات وطبيعة المكان المنشأة به، ومن هذه العلامات:

- البراميل الخراسانية بقطر ٦٠ سم وارتفاع ١١٠ سم وتستخدم في نقاط مثلثات الدرجة الاولى٠
- القضبان الحديدية التي يتراوح طولها بين ١٥٠ ، ٢٠٠ سم بقطر ٤ بوصة ويظهر منها حوالي ١٠ سم فوق سطح الأرض ويمكن صب جزء حرساني حول قاعدتها لضمان ثباتها٠ ويستخدم هذا النوع في مثلثات الارياف٠
- قطع الخشب المربعة ١٥×١٥ سم وبوسطها ثقب به مسمار نحاسي يحدد مركزها وتوضع أعلى أسطح المباني في المدن٠



شكل (٣-٤) نموذج لبناء علامة مثلثات

٣-٢-٣ متانة شبكات المثلثات

تعتمد حسابات شبكات المثلثات (في صورتها البسيطة) على استخدام القانون الرياضي لجيوب الزوايا حيث تبدأ الحسابات من خط القاعدة المقاس مع استخدام الزوايا الأفقية المرصودة ٠ ويدل هذا على أن قيمة الزوايا تؤثر على أطوال الأضلاع المحسوبة وبالتالي على الإحداثيات المستنتجة لنقاط الشبكة٠ ويقصد بمتانة الشبكة عدم تأثر دقة الأطوال المحسوبة نتيجة استخدام قاعدة الجيوب أو على الأقل أن يكون هذا التأثير في حدود مسموحا بها٠

للتعبير عن متانة شكل أو شبكة مثلثات يتم حساب قيمة عددية تسمى متانة الشكل أو الشبكة٠ وتعتمد متانة الشبكة على العوامل الآتية:

- دقة الأرصاد (الزوايا وأطوال خطوط القواعد)٠
- قيمة الزوايا (الأفضل أن تتراوح الزوايا بين ٣٠ ^{o} و ١٢٠ ^{o})٠
- عدد الاتجاهات المرصودة٠
- عدد الشروط الهندسية بالشبكة٠
- عدد المثلثات المستخدمة بين قاعدتين٠

في حالة توافر أرصاد أكثر من العدد الفعلي للقياسات الضرورية لرسم شكل أو شبكة ، فيمكن القول أن هذا الشكل تتوافر به بعض الشروط الهندسية٠ فكمثال فان رسم مثلث يتطلب قياس ٣ كميات فقط (زاويتين وضلع أو ضلعين وزاوية ٠٠٠ الخ) ، فإذا توافرت رصده رابعة فنقول أن هناك شرط هندسي لابد من تحقيقه٠ وبذلك تكون القاعدة العامة لحساب عدد الشروط الهندسية (ش) لأي شكل أو شبكة :

ش = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع الشكل أو الشبكة

مع ملاحظة أن:

عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع أي شكل = ٢ (عدد نقط الشكل – ٢)
ويمكن حساب عدد الشروط الهندسية بطريقة أخرى من العلاقة التالية :

ش = ($ع_{١}$ – $ط_{١}$ + ١) + (ع – ٢ ط + ٣)

حيث:

$ع_{١}$ = عدد الخطوط المرصودة من الطرفين
ع = عدد الخطوط جميعا
$ط_{١}$ = عدد النقاط المحتلة
ط = عدد النقاط جميعا

يتم حساب معامل متانة الشبكة (ق) كالآتي :

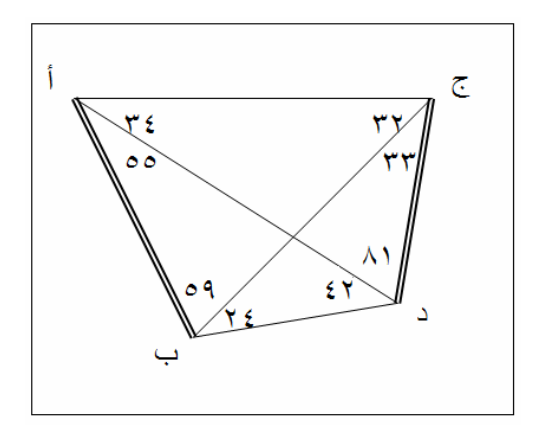
ق = [(ن – ش) / ن] مجموع ($\delta_{أ}^{2}$ + $\delta_{أ}$ $\delta_{ب}$ + $\delta_{ب}^{2}$)

حيث :

ن = عدد الاتجاهات المرصودة – ٢
أو
ن = (عدد الخطوط × ٢) – ٢
δ = معدل التغير في لوغاريتم جيب الزاوية المقابلة للضلع المعلوم لفرق قيمته ١" وذلك من سادس رقم عشري ، أي أن :
δ = (لو جا (أ+١") – لو جا أ) × ١٠ ^{٦}

تستخدم معاملات المتانة لمقارنة المسارات المختلفة للوصول إلى خط قاعدة في الشبكة بدءا من خط القاعدة الأول ، وذلك بهدف تحديد أدق (أمتن) مسار يتم استخدامه في حسابات أطوال الاضلاع. وعند مقارنة أكثر من مسار فأنه كلما قل معامل المتانة كلما كان المسار أدق في الحساب. وكقاعدة عامة فأن معامل المتانة المسموح به = ٨٠ للشكل الواحد ، ويتراوح بين ٨٠ ، ١١٠ في الشبكة.

في المثال التالي (أنظر الشكل) مطلوب تحديد أدق مسار لحساب خط القاعدة ج-د من خط القاعدة المعلوم ا-ب.



شكل (٣-٥) مثال لحساب متانة المثلثات

ن = (عدد الخطوط × ٢) – ٢ = (٦ × ٢) – ٢ = ١٠

ش = (ع$_{١}$ – ط$_{١}$ + ١) + (ع – ٢ ط + ٣) = (٦ – ٤ +١) + (٦– ٢×٤ + ٣) = ٤

(ن – ش) / ن = ٠ر٦

المسار ١			المسار ٢		
المثلث	الزوايا أ ، ب	مقدار ما بين القوسين	المثلث	الزوايا أ ، ب	مقدار ما بين القوسين
أ-ب-د	٤٢ ٨٣	٦	أ-ب-ج	٣٢ ٥٩	١٧
أ-ج-ب	٦٥ ٣٤	١٤	أ-ج-د	٨٠ ٣٤	١١
المجموع		٢٠			٢٨
معامل المتانة	٢٠ × ٠ر٦ = ١٢ر٠		٢٨ × ٠ر٦ = ١٦ر٨		

أي أن المسار ١ أمتن وأدق من المسار ٢ ويكون هو الأحسن لحساب خط القاعدة٠

تجدر الإشارة لوجود جداول خاصة لحساب قيمة $(\delta^{٢}_{أ} + \delta_{أ}\,\delta_{ب} + \delta^{٢}_{ب})$ مباشرة:

٣-٢-٤ الاشتراطات في شبكات المثلثات

في حالة توافر أرصاد أكثر من العدد الفعلي للقياسات الضرورية لرسم شكل أو شبكة ، فيمكن القول أن هذا الشكل تتوافر به بعض الاشتراطات الهندسية٠ فكمثال فان رسم مثلث يتطلب قياس ٣ كميات فقط (زاويتين وضلع أو ضلعين وزاوية ٠٠٠ الخ) ، فإذا تم قياس الزاوية الثالثة فنقول أن هناك شرط هندسي لابد من تحقيقه (وهذا الشرط أن مجموع زوايا المثلث = ١٨٠^{o})٠ وتسمى أرصاد الشبكة في هذه الحالة بالأرصاد الشرطية٠ بينما في حالة أن تكون الأرصاد مساوية للعدد الفعلي للقياسات الضرورية المطلوبة فتسمى بالأرصاد غير الشرطية وهى حالة غير مرغوب فيها في المساحة لعدم توافر الاشتراطات التي تساعد على عمل تحقيق واكتشاف أخطاء الرصد٠

	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90°
10°	428	359																					
12	359	295	253																				
14	315	253	214	187																			
16	284	225	187	162	143																		
18	262	204	168	143	126	113																	
20	245	189	153	130	113	100	91																
22	232	177	142	119	103	91	81	74															
24	221	167	134	111	95	83	74	67	61														
26	213	160	126	104	89	77	68	61	56	51													
28	206	153	120	99	83	72	63	57	51	47	43												
30	199	148	115	94	79	68	59	53	48	43	40	33											
35	188	137	106	85	71	60	52	46	41	37	33	27	23										
40	179	129	99	79	65	54	47	41	36	32	29	23	19	16									
45	172	124	93	74	60	50	43	37	32	28	25	20	16	13	11								
50	167	119	89	70	57	47	39	34	29	26	23	18	14	11	9	8							
55	162	115	86	67	54	44	37	32	27	24	21	16	12	10	8	7	5						
60	159	112	83	64	51	42	35	30	25	22	19	14	11	9	7	5	4	4					
65	155	109	80	62	49	40	33	28	24	21	18	13	10	7	6	5	4	3	2				
70	152	106	78	60	48	38	32	27	23	19	17	12	9	7	5	4	3	2	1				
75	150	104	76	58	46	37	30	25	21	18	16	11	8	6	4	3	2	2	1	1	1		
80	147	102	74	57	45	36	29	24	20	17	15	10	7	5	4	3	2	1	1	1	0	0	
85	145	100	73	55	43	28	23	19	16	14	10	7	5	3	2	2	1	1	0	0	0	0	
90	143	98	71	54	42	33	27	22	19	16	13	9	6	4	3	2	1	1	1	0	0	0	0
100	138	95	68	51	40	31	25	21	17	14	12	8	6	4	3	2	1	1	0	0	0		
105	136	93	67	50	39	30	25	20	17	14	12	8	5	4	2	2	1	1	0	0			
110	134	91	65	49	38	30	24	19	16	13	11	7	5	3	2	2	1	1	1				
115	132	89	64	37	29	23	19	15	13	11	7	5	3	2	2	1	1						
120	129	88	62	46	36	28	22	18	15	12	10	7	5	3	2	2	1						
125	127	86	61	45	35	27	22	18	14	12	10	7	5	4	3	2							
130	125	84	59	44	34	26	24	17	14	12	10	7	5	4	3								
135	122	82	58	43	33	26	21	17	14	12	10	7	5	4									
140	119	80	56	42	32	25	20	17	14	12	10	8	6										
145	116	77	55	41	32	25	21	17	15	13	11	9											
150	112	75	54	40	32	26	21	18	16	15	13												
152	111	75	53	40	32	26	22	19	17	16													
154	110	74	53	41	33	27	23	21	19														
156	108	74	54	42	34	28	25	22															
158	107	74	54	43	35	30	27																
160	107	74	56	45	38	33																	
162	107	76	59	48	42																		
164	109	79	63	54																			
166	113	86	71																				
168	122	98																					
170	143																						

شكل (٣-٦) جدول حساب متانة المثلثات

أنواع الاشتراطات

يمكن تقسيم الاشتراطات في شبكات المثلثات إلى نوعين رئيسين وهما الاشتراطات الخارجية والاشتراطات الداخلية٠

الاشتراطات الخارجية ترتبط بربط شبكة المثلثات مع الشبكات المجاورة السابق ضبطها (تصحيحها) وهى:

- شرط طول خط القاعدة: طول خط القاعدة المحسوب من الزوايا المصححة يجب أن يساوى طول خط القاعدة المرصود٠
- شروط الانحراف: انحرافات أضلاع الشبكة المحسوبة من الزوايا المصححة يجب أن تساوى الانحرافات المرصودة ٠
- شروط خطى الطول والعرض: خطوط الطول والعرض المحسوبة لأحد طرفي خط القاعدة يجب أن تساوى خطوط الطول والعرض المرصودة فلكيا لهذا الطرف٠

الاشتراطات الداخلية وهى علاقات هندسية يجب تحقيقها لضمان دقة الإحداثيات المحسوبة لنقط المثلثات٠ وكلما زاد عدد الاشتراطات في الشبكة كلما زاد ضمان صحة الأرصاد ودقة العمل٠ وكما سبق الذكر فأن القاعدة العامة لحساب عدد الاشتراطات (ش) لأي شكل أو شبكة :

ش = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع الشكل أو الشبكة

مع ملاحظة أن:

عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع أي شكل = ٢ (عدد نقط الشكل – ٢)

أنواع الاشتراطات الداخلية

١- الشرط المحلي: ويسمى أيضا شرط قفل الأفق وهو أن مجموع الزوايا الأفقية المرصودة حول نقطة يجب أن يساوى ٣٦٠ ° ٠

٢- الشرط المثلثي: وهو أن مجموع زوايا المثلث يجب أن يساوى ١٨٠ ° (للمثلث المستوى) أو أن مجموع زوايا المثلث يجب أن يساوى ١٨٠ ° + ز (للمثلث الجيوديسي) حيث ز = الزيادة الكرية٠

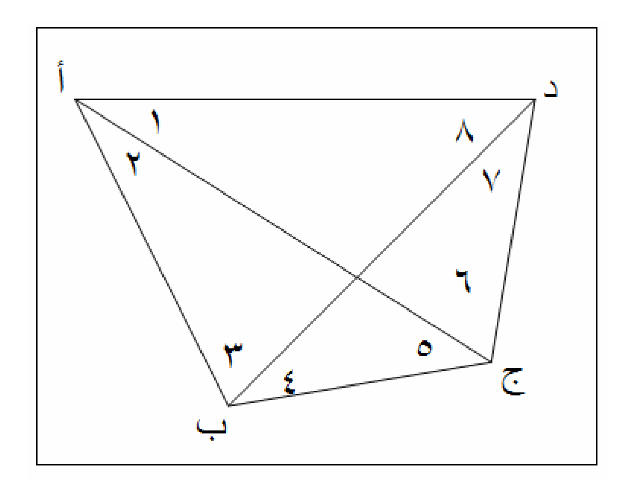
٣- الشرط الضلعي : لضمان ثبات أطوال الأضلاع المحسوبة بغض النظر عن المسار المتبع بدءا من الضلع المرصود٠ ويجب أولا تصحيح الزوايا المرصودة (أي تحقيق الشروط المحلية والمثلثية) قبل استخدام هذه الزوايا في تحقيق الشرط الضلعي ٠

ويمكن استخدام القوانين التالية لمعرفة عدد كل نوع من الشروط:

عدد الاشتراطات المثلثية = ل ـ ن + ١
عدد الاشتراطات الضلعية = ع ـ ٢ ن + ٣
عدد الاشتراطات المحلية = (ص + ن) ـ (ل + ع)

حيث:
ن = عدد نقط الشكل
ص = عدد الأرصاد
ل = عدد الأضلاع المرصودة من الاتجاهين
ع = عدد الأضلاع الكلية في الشكل

وتوجد العديد من الطرق لكتابة الشرط الضلعي سنتعرض لأبسطها في مثال الشكل الرباعي مرصود القطرين كما يلي :



شكل (٣-٧) الشرط الضلعي للشكل الرباعي

عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع الشكل الرباعي = ٢ (عدد نقط الشكل – ٢) = ٤
عدد الأرصاد الفعلية في الشكل الرباعي = ٨
عدد الاشتراطات = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية = ٨ – ٤ = ٤
عدد الاشتراطات المحلية = صفر (لا يوجد قفل أفق في المثال)
عدد الاشتراطات المثلثية = ٣
عدد الاشتراطات الضلعية = عدد الاشتراطات الكلية – (الاشتراطات المحلية + الاشتراطات المثلثية) = ١

طريقة كتابة الشرط الضلعي:

١- نختار نقطة القطب (أي نقطة تمر بها أشعة إلى كل باقي نقط الشكل) مثلا نقطة ج
٢- نكتب جميع الأشعة المارة بهذه النقطة بالترتيب (سواء في اتجاه عقرب الساعة أو ضده) فتكون الأشعة في اتجاه عقرب الساعة هي: ج د ، ج ب ، ج أ
٣- نجعل حاصل ضرب هذه الأشعة بنفس ترتيبها بسطا لكسر اعتيادي
٤- نكتب ترتيب الأشعة مرة أخرى بعد أن نجعل أول شعاع يصبح آخر شعاع: ج ب ، ج أ ، ج د
٥- نجعل حاصل ضرب هذا الترتيب الجديد مقاما للكسر اعتيادي
٦- نساوى هذا الكسر بالواحد:

ج د ٠ ج ب ٠ ج أ
-------------------- = ١
ج ب ٠ ج أ ٠ ج د

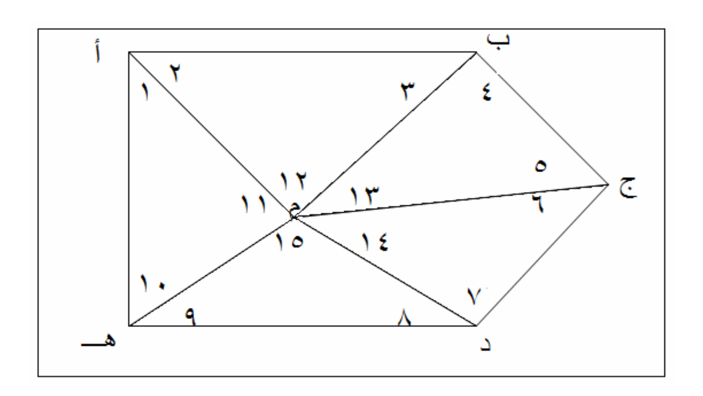
٧- نعوض عن كل شعاع بجيب الزاوية المقابلة له:

جا (م٤)٠ جا (م٢)٠ جا (م٧+م٨)
-------------------------------------- = ١
جا (م٧)٠ جا (م٣+م٤)٠ جا (م١)

٨- نأخذ لوغاريتم هذه المعادلة فنحصل على <u>الشرط الضلعي المطلوب</u> :

لو جا (م٤)+ لو جا (م٢)+ لو جا (م٧+م٨) = لو جا (م٧)+ لو جا (م٣+م٤)+ لو جا (م١)

<u>مثال آخر لكتابة الشرط الضلعي للشكل المركزي</u> : في الشكل التالي لا توجد أي نقطة تصلح لاختيارها كقطب إلا نقطة المركز م وبإتباع الخطوات السابقة نحصل على الشرط الضلعي الآتي:

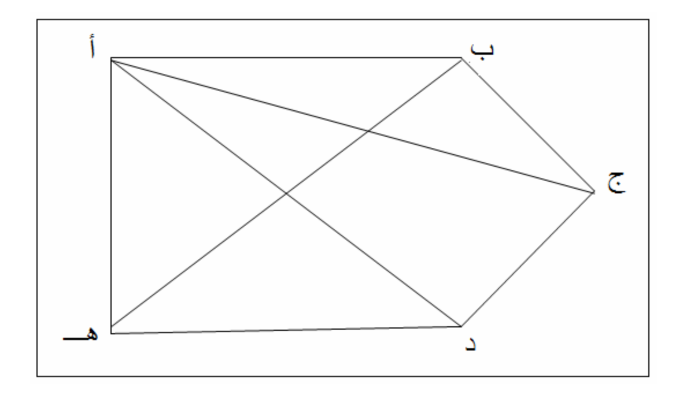


شكل (٣-٨) الشرط الضلعي للشكل المركزي

م ه × م أ × م ب × م ج × م د
------------------------------- = ١
م أ × م ب × م ج × م د × م ه

لو جا (م١) + لو جا (م٣) + لو جا (م٥) + لو جا (م٧ + لو جا (م٩) =
لو جا (م١٠) + لو جا (م٢) + لو جا (م٤) + لو جا (م٦) + لو جا (م٨)

<u>مثال آخر لكتابة الشرط الضلعي</u>: في الشكل التالي لا توجد أي نقطة تصلح لاختيارها كقطب إلا نقطة أ حيث أنها النقطة الوحيدة التي تمر بها أشعة إلى جميع نقط الشكل ٠



شكل (٣-٩) مثال آخر للشرط الضلعي

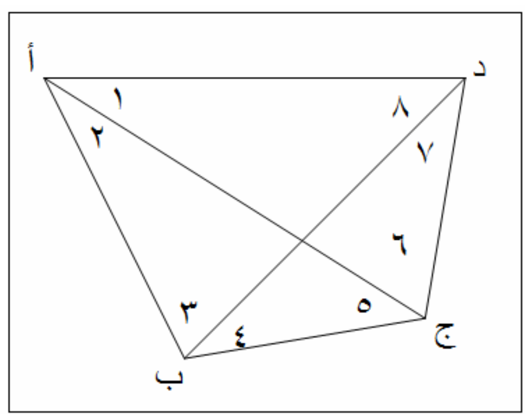
٣-٢-٥ شروط ضبط شبكات المثلثات

من المعروف أن أية قياسات مهما بلغت دقتها تكون بها بعض الأخطاء مهما صغرت قيمتها. ولذلك فأن الهدف من إجراء عملية ضبط شبكات المثلثات هو تصحيح الزوايا المرصودة بحيث تحقق كافة الاشتراطات المتوفرة بالشبكة (الاشتراطات المحلية والمثلثية والضلعية). وتوجد العديد من الطرق الرياضية لضبط الشبكات سنتعرض في هذا الباب لإحدى الطرق البسيطة.

مثال لضبط الشكل الرباعي مرصود القطرين

يعرف الشكل الرباعي ذو القطرين بأنه من أمتن وأقوى الأشكال الهندسية المكونة لشبكات المثلثات وخاصة من الدرجة الأولى ، وفى هذا الشكل نجد أن :

عدد الأرصاد الضرورية لتوقيع الشكل الرباعي = ٢ (عدد نقط الشكل – ٢) = ٤
عدد الأرصاد الفعلية في الشكل الرباعي = ٨
عدد الاشتراطات = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية = ٨ – ٤ = ٤
عدد الاشتراطات المحلية = صفر (إن لم يوجد قفل أفق)
عدد الاشتراطات المثلثية = ٣
عدد الاشتراطات الضلعية = عدد الاشتراطات الكلية – (الاشتراطات المحلية + الاشتراطات المثلثية) = ١



شكل (٣-١٠) الشكل الرباعي المرصود القطرين

مثال لأرصاد الشكل الرباعي المرصود القطرين

الزاوية	قيمتها
١	٥٧° ٤٢' ٣٠"
٢	٢٧ ٥١ ٤٩
٣	٤١ ٥٨ ٣٢
٤	٥٧ ٤٢ ٣٤
٥	٥٢ ٢٧ ٠٧
٦	٤١ ٥٨ ٤١
٧	٢٧ ٥١ ٣٣
٨	٥٢ ٢٧ ٠٦
المجموع	٣٥٩ ٥٩ ٥٢

الشرط المثلثي الأول: مجموع الزوايا الثمانية = ٣٦٠ °
الخطأ = ٥٢ ٥٩ ٣٥٩ – ٣٦٠ = + ٨"

الشرط المثلثي الثاني : أي زاويتين متقابلتين بالرأس متساويتين
١ + ٨ = ٤ + ٥
١ + ٨ = ٣٦" ٠٩' ١١٠°
٤ + ٥ = ٤١" ٠٩' ١١٠°
الخطأ = ٥"
التصحيح لكل زاوية = ٥" / ٤ = ٢٥ر١" (للسهولة سنأخذ التصحيح = ١" على أن تصحح زاوية واحدة بمقدار ٢" لكي يكون مجموع تصحيحات الزوايا الأربع = ٥")٠ ويكون التصحيح بالجمع للزاويتين ١ ، ٨ وبالطرح للزاويتين ٤ ، ٥ ٠ ويجب استخدام الزوايا التي سبق تصحيحها للشرط المثلثي الأول ولا نستخدم الزوايا المرصودة٠

الشرط المثلثي الثالث : أي زاويتين متقابلتين بالرأس متساويتين
٢ + ٣ = ٦ + ٧
٢ + ٣ = ٢١ ٥٠ ٦٩ °
٦ + ٧ = ١٤ ٥٠ ٦٩°
الخطأ = ٧"
التصحيح لكل زاوية = ٧" / ٤ = ٧٥ر١" (للسهولة سنأخذ التصحيح = ٢" على أن تصحح زاوية واحدة بمقدار ١" لكي يكون مجموع تصحيحات الزوايا الأربع = ٧")٠ ويكون التصحيح بالطرح للزاويتين ٢ ، ٣ وبالجمع للزاويتين ٦ ، ٧ ٠

جدول تصحيح الشروط المثلثية للشكل الرباعي المرصود القطرين

الزاوية	المرصودة	مجموع الزاويتين المتقابلتين بالرأس	الفرق	ضبط الفرق	ضبط ٣٦٠	الضبط الكلي	الزاوية نصف المصححة
١	٥٥٧'٤٢ " ٣٠			+١"	+١"	+٢"	٥٥٧ '٤٢ " ٣٢
٨	٥٢ ٢٧ ٠٦	٥١١٠'٠٩ " ٣٦		+٢"	+١"	+٣"	٥٢ ٢٧ ٠٩
			٥"				
٤	٥٧ ٤٢ ٣٤			-١"	+١"	-	٥٧ ٤٢ ٣٤
٥	٥٢ ٢٧ ٠٧	١١٠ ٠٩ ٤١		-١"	+١"	-	٥٢ ٢٧ ٠٧
٢	٢٧ ٥١ ٤٩			-١"	-	-١"	٢٧ ٥١ ٤٨
٣	٤١ ٥٨ ٣٢	٦٩ ٥٠ ٢١		-٢"	+١"	-١"	٤١ ٥٨ ٣١
			٧"				
٦	٤١ ٥٨ ٤١			+٢"	+١"	+٣"	٤١ ٥٨ ٤٤
٧	٢٧ ٥١ ٣٣	٦٩ ٥٠ ١٤		+٢"	-	+٢"	٢٧ ٥١ ٣٥
		٥ ٣٥٩ '٥٩ "٥٢		+٢"	+٦"	+٨"	٥ ٣٦٠ '٠٠ "٠٠

<u>الشرط الضلعي :</u> يمكن اعتبار نقطة تقاطع القطرين كأنها قطب للشكل (افتراضيا مع أنها غير محتلة) لسهولة تكوين معادلة الشرط الضلعي :

لو جا٨ + لو جا ٢ + لو جا ٤ + لو جا ٦ = لو جا ١ + لو جا ٣ + لو جا ٥ + لو جا ٧

وتكون الخطوات كالتالي:

١- نحسب قيمة لو جا الزوايا الفردية (ل ١) ، لو جا الزوايا الزوجية (ل ٢)
٢- نحسب الفرق (ل١ – ل٢)
٣- نحسب مجموع لو جا ١ " لجميع الزوايا (مج)
٤- معامل التصحيح = (ل١ – ل ٢) / (مج)
٥- نضيف معامل التصحيح للزوايا التي كان لها (لو جا) هو الأصغر ونطرح معامل التصحيح من الزوايا التي كان لها (لو جا) هو الأكبر . ويلاحظ أن في حالة كون معامل التصحيح أقل من ١" فيمكن اعتباره ١" لتسهيل الحسابات.

جدول تصحيح الشرط الضلعي للشكل الرباعي المرصود القطرين

الزاوية	نصف المصححة	لو جا الزاوية + ١٠	فرق لو جا ١" × ١٠$^{-٦}$	ضبط الفرق	الزاوية المصححة
٨	٠٩ ٢٧ ٥٢	٩,٨٩٩١٩٠١٤٦	١٦,٢	-١ "	٠٨ ٢٧ ٥٢
٢	٣٤ ٤٢ ٥٧	٩,٩٢٧٠٣٦٥٠٧	١٣,٣	-١ "	٣٣ ٤٢ ٥٧
٤	٤٨ ٥١ ٢٧	٩,٦٦٩٦٥٥٣٩٥	٣٩,٨	-١ "	٤٧ ٥١ ٢٧
٦	٤٤ ٥٨ ٤١	٩,٨٢٥٣٣٣١١	٢٣,٤	-١ "	٤٣ ٥٨ ٤١

		ل١=٣٩.٣٢١٢١٥١٦			
١	٣٢ ٤٢ ٥٧	٩,٩٢٧٠٣٣٨٤٦	١٣,٣	+١ "	٣٣ ٤٢ ٥٧
٣	٣١ ٥٨ ٤١	٩,٨٢٥٣٠٢٦٨٦	٢٣,٤	+١ "	٣٢ ٥٨ ٤١
٥	٠٧ ٢٧ ٥٢	٩,٨٩٩١٨٦٩٠٩	١٦,٢	+١ "	٠٨ ٢٧ ٥٢
٧	٣٥ ٥١ ٢٧	٩,٦٦٩٦٠٣٦١٥	٣٩,٨	+١ "	٣٦ ٥١ ٢٧
		ل٢=٣٩,٣٢١١٢٧٠٦			
		(ل١ – ل٢) = ٨٨,١ × $^{-٦}$	مج = ١٨٥,٤ × $^{-٦}$		
معامل التصحيح = ٨٨,١ / ١٨٥,٤ = ٠,٤٧ " ≈ ١ "					

<u>مثال لضبط الشكل الرباعي ذو المركز</u>

في الشكل الرباعي المركزي يوجد ٦ شروط :

شرط محلى واحد (مجموع الزوايا حول المركز = ٣٦٠)

أربعة شروط مثلثية (في كل مثلث: مجموع الزوايا = ١٨٠)

شرط ضلعي واحد٠

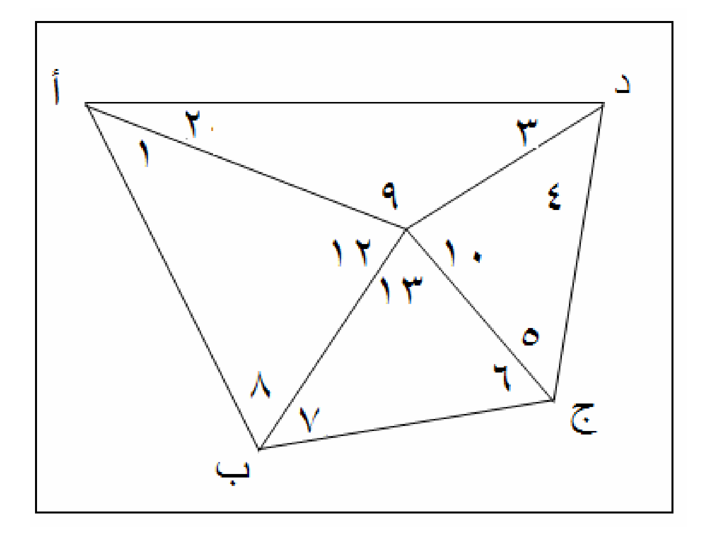
<u>وتكون خطوات التصحيح كالآتي:</u>

١- تصحيح زوايا كل مثلث ليكون مجموع الزوايا الثلاثة = ١٨٠

٢- تصحيح زوايا المركز ليكون مجموعها = ٣٦٠

٣- يضاف تصحيح زاوية المركز لكل مثلث بعكس إشارته على الزاويتين غير المركزتين في كل مثلث حتى نحافظ على الشرط المثلثي مرة أخرى٠

٤- تصحيح الشرط الضلعي (بنفس الأسلوب كما سبق في الشكل الرباعي مرصود القطرين)٠



شكل(٣-١١) الشكل الرباعي المرصود القطرين

جدول تصحيح الشروط المثلثية والشرط المحلى للشكل الرباعي ذو المركز

الزاوية	المرصودة	زوايا المركز	الفرق	ضبط ١٨٠	ضبط ٣٦٠	الضبط الكلي	الزاوية نصف المصححة
٨	٤٠ ١٠ ١٧			-	١+	١+	٤٠ ١٠ ١٨
١	٧٩ ٢٧ ١٢		١+	١-	١+	-	٧٩ ٢٧ ١٢
١٢	٦٠ ٢٢ ٣٢	٦٠ ٢٢ ٣٢		-	٢-	٢-	٦٠ ٢٢ ٣٠
	١٨٠ ٠٠ ٠١						
٢	٨٣ ١٥ ٢٨			٢+	١+	٣+	٨٣ ١٥ ٣١
٣	٣٩ ٣٠ ٣٦		٨-	٣+	١+	٤+	٣٩ ٣٠ ٤٠
٩	٥٧ ١٣ ٤٨	٥٧ ١٣ ٤٨		٣+	٢-	١+	٥٧ ١٣ ٤٩
	١٧٩ ٥٩ ٥٢						
٤	٢٨ ٤٨ ٥٨			-	١+	١+	٢٨ ٤٨ ٥٩
٥	٤٠ ٢٢ ٥٢		٥+	٣-	١+	٢-	٤٠ ٢٢ ٥٠
١٠	١١٠ ٤٨ ١٥	١١٠ ٤٨ ١٥		٢-	٢-	٤-	١١٠ ٤٨ ١١
	١٨٠ ٠٠ ٠٥						
٦	٢٧ ٤١ ٠٧			٢-	١+	١-	٢٧ ٤١ ٠٦
٧	٢٠ ٤٣ ٢٤		٦+	٢-	٢+	-	٢٠ ٤٣ ٢٤
١١	١٣١ ٣٥ ٣٥	١٣١ ٣٥ ٣٥		٢-	٣-	٥-	١٣١ ٣٥ ٣٠
	١٨٠ ٠٠ ٠٦						
		٣٦٠ ٠٠ ١٠		"١-			
		"١٠	+١٠ " – ١ " = ٩ " توزع على زوايا المركز فقط				

جدول تصحيح الشرط الضلعي للشكل الرباعي ذو المركز

الزاوية	نصف المصححة	لو جا الزاوية + ١٠	فرق لو جا ١" × ١٠^{-٦}	ضبط الفرق	الزاوية المصححة
٨	١٨ ١٠ ٤٠	٩,٨٠٩٦١٣٦	٢٤	+١ "	١٩ ١٠ ٤٠
٢	٣١ ١٥ ٨٣	٩,٩٩٦٩٨٧	٢	+١ "	٣٢ ١٥ ٨٣
٤	٥٩ ٤٨ ٢٨	٩,٦٨٣٠٥٠١	٣٧	+١ "	٠٠ ٤٩ ٢٨
٦	٠٦ ٤٠ ٢٧	٩,٦٦٦٨٤٧٩	٤٠	+١ "	٠٧ ٤٠ ٢٧

		ل١=٣٩,١٥٦٤٩٩٥			
١	١٢ ٢٧ ٧٩	٩,٩٩٢٦٠٠٤	٤	-١ "	١١ ٢٧ ٧٩
٣	٤٠ ٣٠ ٣٩	٩,٨٠٣٦١٢٧	٢٥	-١ "	٣٩ ٣٠ ٣٩
٥	٥٠ ٢٢ ٤٠	٩,٨١١٤٨٢٢	٢٤	-١ "	٤٩ ٢٢ ٤٠
٧	٢٤ ٤٣ ٢٠	٩,٥٤٨٨٢٦٢	٥٧	-١ "	٢٣ ٤٣ ٢٠
		ل٢=٣٩,١٥٦٥٢١٥			
	(ل١ – ل٢) = ٢٢ × ١٠^{-٦}		مج = ٢١,٣ × ١٠^{-٦}		
معامل التصحيح = ٢٢ / ٢١,٣ = ١,٠٣ " ≈ ١ "					

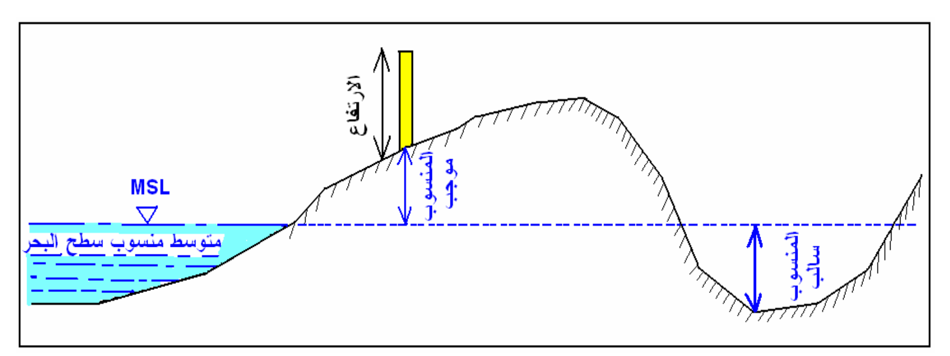
٣-٣ شبكات الثوابت الأرضية الرأسية (شبكات الروبيرات)

تستخدم تطبيقات المساحة مثل الشريط و الثيودليت في تحديد مواقع (إحداثيات) المعالم الجغرافية في مستوي ، أي من خلال تحديد بعدين (س ، ص) لكل نقطة. إلا أن الأرض ليست مستوي إنما هي مجسم شبه كروي وسطحه ليس مستويا بل تتخلله الجبال و الوديان و المنخفضات ، ولتمثيل أي معلم علي الأرض يلزمنا ثلاثة أبعاد وليس أثنين فقط. هذا البعد الثالث (البعد الرأسي) هو الهدف الذي تسعي الميزانية لقياسه. الميزانية هي فرع المساحة الذي يبحث في الطرق المختلفة لقياس البعد الثالث (الارتفاعات) للمعالم الجغرافية علي سطح الأرض. الميزانية (أو التسوية) من أهم تطبيقات علم المساحة في كافة المشروعات المدنية و العسكرية علي الأرض، فهي أساس العمل المساحي في تنفيذ مشروعات البناء و الجسور و الكباري و الطرق و السكك الحديدية والترع و المصارف والسدود وتسوية الأراضي ... الخ.

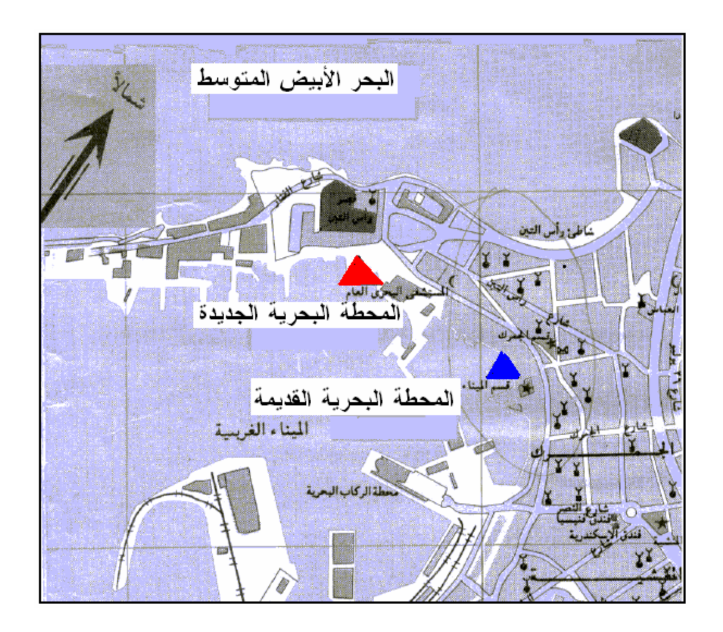
لتحديد البعد الرأسي (ارتفاع أو الانخفاض) لمجموعة من النقاط يلزم سطح مرجعي أو مستوي مقارنه تنسب إليه جميع القياسات ، أي سطح عين يكون الارتفاع عنده مساويا للصفر. يتكون كوكب الأرض من مياه (بحار و محيطات) تغطي ٧٥% من إجمالي سطح الكوكب بينما تمثل اليابسة (القارات) الجزء المتبقي. لذلك أتخذ علماء المساحة منذ مئات السنين مستوي سطح البحر (وامتداده الوهمي تحت اليابسة) كسطح مرجعي لقياس الارتفاعات. بما أن مياه البحار و المحيطات تتأثر علي سطحها بالتيارات البحرية اليومية و تأثيرات المد و الجزر فأن مستوي المقارنة هو متوسط منسوب سطح البحر Mean Sea Level أو اختصارا MSL. فإذا تم قياس البعد الرأسي لأي معلم بدءا من أي مرجع فنطلق علي هذا القياس أسم "الارتفاع Height" بينما إذا تم القياس بدءا من متوسط منسوب سطح البحر MSL فنطلق علي هذا البعد

أسم "المنسوب Level". أي أن المنسوب هو ارتفاع من نوع خاص تم قياسه أو تحديده بدءا من متوسط منسوب سطح البحر. يكون المنسوب موجبا إن كان أعلي من منسوب متوسط سطح البحر ، ويكون سالبا إن كان أقل منه.

قامت كل دولة بتحديد متوسط منسوب سطح البحر MSL في نقطة محددة ومن ثم تم اعتبار تلك النقطة هي أساس كل القياسات الرأسية (المناسيب) في هذه الدولة. مثلا في مصر فأن محطة تحديد متوسط منسوب سطح البحر كانت في ميناء الإسكندرية (علي ساحل البحر الأبيض المتوسط) في عام ١٩٠٧م ولذلك نجد في أسفل كل خريطة مصرية جملة "المناسيب مقاسة نسبة إلي متوسط منسوب سطح البحر عند الإسكندرية في عام ١٩٠٧م". أما في المملكة العربية السعودية فالنقطة الأساسية كانت في مدينة جدة (علي ساحل البحر الأحمر) في عام ١٩٦٩م. كانت هذه العملية تتم من خلال قياس و تسجيل ارتفاع مياه سطح البحر داخل بئر - قريب من ساحل البحر وتدخله مياه البحر عن طريق أنبوبة – كل ساعة علي مدار اليوم ولمدة زمنية طويلة تتجاوز عدة سنوات حتى يمكن حساب متوسط هذه القياسات وبالتالي تحديد النقطة (داخل هذا البئر) التي يكون عندها متوسط منسوب سطح البحر مساويا للصفر. في مصر تمت هذه القياسات للفترة ١٨٩٨م - ١٩٠٧م حتى تم تحديد MSL لمصر.

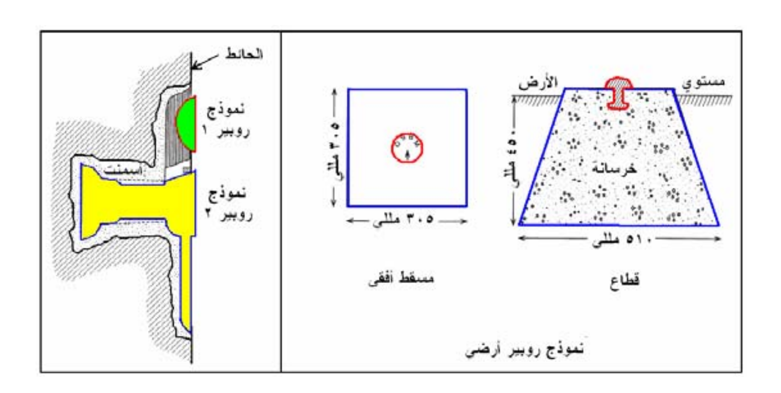


شكل (٣-٥) الارتفاع و المنسوب

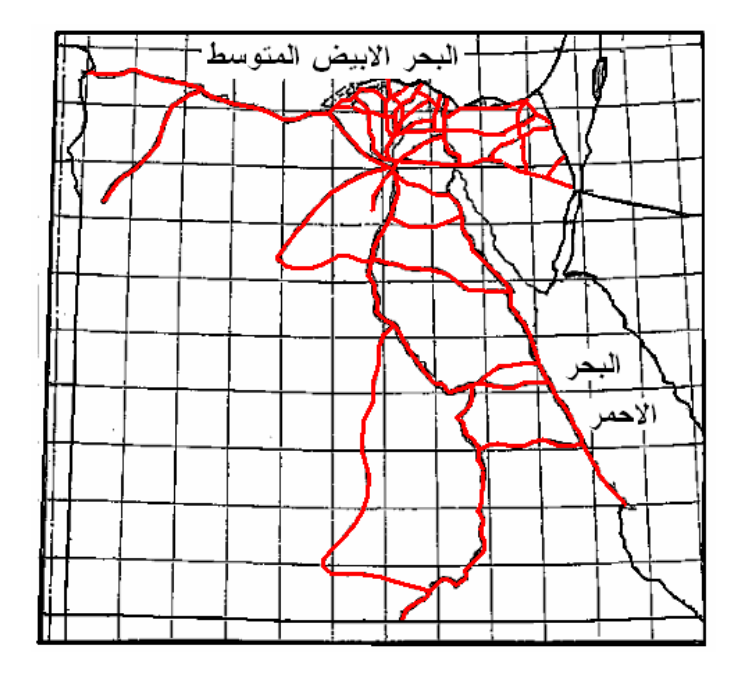


شكل (٣-٦) محطة قياس منسوب سطح البحر في مصر

بعد تحديد متوسط منسوب سطح البحر للدولة يتم بناء نقطة ثوابت (علامة أرضية) بالقرب من هذا البئر ويتم قياس ارتفاع هذه النقطة عن متوسط منسوب سطح البحر (أي يتم تحديد منسوب هذه النقطة). أطلق أسم Bench Mark أو اختصارا "BM" أو "الروبير" علي هذه النقطة وعلي كل نقطة معلومة المنسوب. وبطريقة معينة (الميزانية التي سنتحدث عنها لاحقا) تم بناء مجموعة من علامات BM الروبيرات بحيث تغطي كافة الأنحاء المعمورة من الدولة، وهذا ما يطلق عليه أسم شبكة الثوابت الرأسية أو شبكات الميزانية أو الشبكات المساحية الرأسية. وبالتالي فتكون فأن من مهام الجهة الحكومية المسئولة عن المساحة في الدولة (هيئة المساحة في مصر أو إدارة المساحة العسكرية في السعودية) توفير نقاط روبيرات داخل كل مدينة في هذه الدولة بحيث يمكن لأي مشروع هندسي أن يبدأ من نقطة BM معلومة المنسوب بالقرب من موقع المشروع. تكون الروبيرات أما مثبتة في حائط أي مبني (غالبا مبني حكومي) وتسمي روبيرات الحائط أو مثبتة في الأرض وتسمي روبيرات أرضية. ويتم الحصول علي معلومات أي روبير (موقعه بالتحديد وقيمة منسوبة) من الجهة المسئولة عن أعمال المساحة في هذه المدينة أو هذه الدولة.



شكل (٣-٧) أنواع و نماذج روبيرات

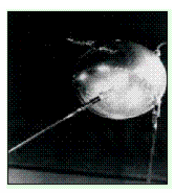
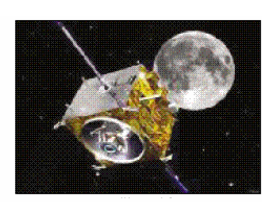
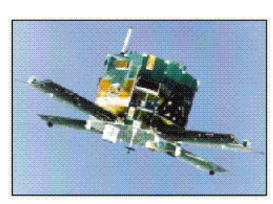


شكل (٣-٨) شبكة الروبيرات الأساسية في مصر

الفصل الرابع

جيوديسيا الأقمار الصناعية

مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفا تقنيا جديدا حيث أستطاع الإنسان أن يرسل أجساما معدنية إلي خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض، وهي الأجسام التي أصطلح علي تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites. يعد إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول "سبوتنيك-١ Sputbik-1" في ٤ أكتوبر ١٩٥٧م هو إعلان دخول الإنسان لعصر الأقمار الصناعية. هذا و قد بدأ إطلاق الأقمار الصناعية و غزو الفضاء – بصفة عامة – بعد أن تطورت عدة تقنيات و خاصة الصواريخ و الرادار ، فالصاروخ هو الوسيلة لإيصال القمر الصناعي إلي الفضاء (كان أول صاروخ يطلق للفضاء بواسطة فريق علماء ألمان بقيادة براون في عام ١٩٣٤م) و الرادار مهم لتعقب القمر و معرفة موقعه ، كما ساهم التطور في الحاسبات الآلية و أنظمة الاتصالات في الإسراع بالدخول إلي عصر الفضاء.


شكل (٤-١) بعض الأقمار الصناعية

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية – بصفة عامة – إلي ثلاثة مجموعات أو أنواع:

أ- أقمار صناعية ملاحية Navigation Satellites يكون هدفها الأساسي تقديم تقنيات ووسائل دقيقة لعمليات الملاحة بين موقعين (سواء الملاحة الأرضية أو البحرية أو الجوية أو حتى الملاحة الفضائية) ، وتأتي في هذه المجموعة من الأقمار الصناعية نظم أو تقنيات مثل نظام الجي بي أس GPS و نظام جاليليو Galileo و نظام دوبلر Doppler و نظام جلوناس GLONASS.

ب- أقمار صناعية للاتصالات Communication Satellites وهي أقمار تساعد في نقل البيانات (مثل البث الإذاعي و التلفزيوني) وتوزيعها علي أجزاء كبيرة من سطح الأرض لتتغلب علي مشكلة كروية الأرض التي تعيق النقل المباشر الأرضي لهذه البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من الأقمار الصناعية: النيل سات و العرب سات المستخدمين في البث التلفزيوني.

ت- أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض Earth Resources Satellites ومنها أقمار صناعية خاصة بدراسة البحار و أخري خاصة بدراسة الطقس و ثالثة مخصصة للتصوير الفضائي أو ما يعرف الآن بأقمار الاستشعار عن بعد Remote Sensing Satellites.

٤-١ جيوديسيا الأقمار الصناعية

يهتم فرع جيوديسيا الأقمار الصناعية بطرق الرصد و الحساب التي تسمح بتقديم حلول للمشاكل الجيوديسية من خلال أرصاد (قياسات) دقيقة إلي أو من أو بين الأقمار الصناعية التي تكون غالبا قريبة من سطح الأرض.

من أساسيات جيوديسيا الأقمار الصناعية الإلمام بطبيعة و قوانين حركة الأجسام (الأقمار الصناعية هنا) داخل أو خارج نطاق الجاذبية الأرضية لكوكب الأرض والقوي المؤثرة علي هذه الأقمار في مداراتها وأيضا كيفية تحديد العلاقات الفراغية (المواقع) بين هذه الأقمار الصناعية والمحطات الأرضية (نقاط الثوابت الجيوديسية) في إطار (نظام إحداثيات) مناسب.

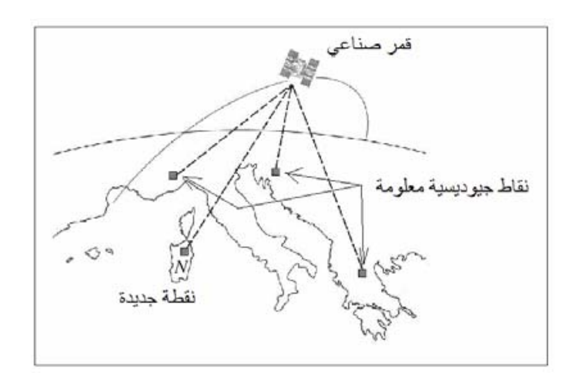
تستخدم جيوديسيا الأقمار الصناعية في عدة مجالات أساسية تشمل:

- التحديد الدقيق للإحداثيات ثلاثية الأبعاد بهدف إنشاء نقاط الثوابت الجيوديسية سواء علي المستوي العالمي أو القاري أو الوطني.
- تحديد مجال الجاذبية الأرضية للأرض ومن ثم تحديد شكل الأرض الحقيقي (الجيويد) بدقة.
- قياس و نمذجة التغيرات الديناميكية (التغيرات مع مرور الزمن أي رباعية الأبعاد) مثل تحركات القشرة الأرضية وحركة الصفائح التكتونية والتغير في عناصر دوران الأرض.

٤-١-١ مميزات جيوديسيا الأقمار الصناعية

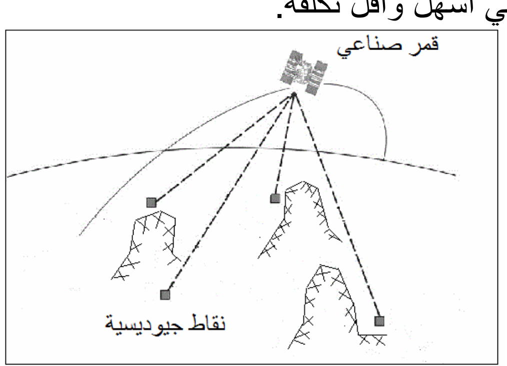
تأتي أهمية فرع جيوديسيا الأقمار الصناعية من عدة مبادئ أساسية تقدم حلولا مبتكرة للعمل الجيوديسي وطرق الرصد:

١. يمكن التعامل مع الأقمار الصناعية كأنها أهداف علي ارتفاعات عالية تكون مرئية من مسافات كبيرة جدا. أي أنها تعد كنقاط تحكم (ثوابت) control points يمكن رصدها في شبكة عالمية أو إقليمية، فإذا تم رصد القمر الصناعي (أنظر الشكل التالي) في نفس اللحظة من عدة نقاط أرضية - تبعد عن بعضها البعض مئات أو أحيانا آلاف الكيلومترات - فيمكن اعتبار القمر الصناعي كما لو كان هدف فقط (شاخص مثلا في المساحة الأرضية) دون الحاجة لمعرفة موقعه الدقيق ومن هذه الأرصاد يمكن حساب المسافات – مثلا - بين هذه النقاط الأرضية. هذه الخاصية أو المبدأ هو ما أنشأ الطريقة الهندسية Geometrical Method في جيوديسيا الأقمار الصناعية.

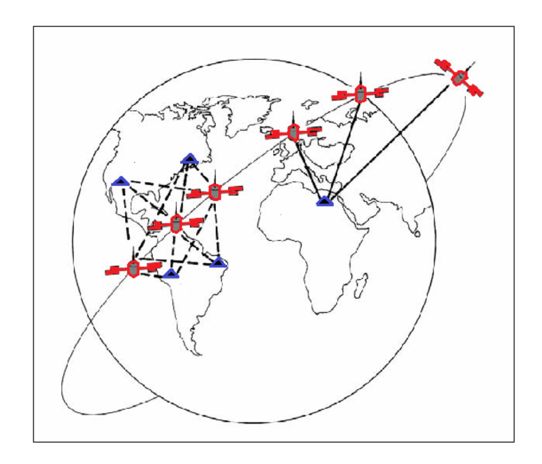


شكل (٤-٢) استخدام الأقمار الصناعية كأهداف رصد عالية الارتفاع

٢. في الطرق الجيوديسية التقليدية (شبكات المثلثات) كان من الضروري للرصد توافر عنصر الرؤية المتبادلة بين نقاط الثوابت الأرضية حيث أن الرصد يعتمد علي الأجهزة البصرية (الثيودليت). ومن هنا كانت أطوال أضلاع شبكات المثلثات قصيرة نسبيا وكان العمل الحقلي صعبا ويتم في أوقات معينة يتوافر بها الطقس المناسب وصفاء الرؤية بين النقاط. هذا المبدأ تم تخطيه تماما في جيوديسيا الأقمار الصناعية حيث أن كل نقطة أرضية تستقبل إشارات الأقمار الصناعية فقط وليس هناك أي حاجة لرؤية النقاط الأخرى. وبالتالي زادت أطوال أضلاع الشبكات الجيوديسية لدرجة مئات الكيلومترات في الشبكات العالمية ولم يعد الرصد معتمدا علي الظروف المناخية وأيضا أصبح العمل الحقلي أسهل وأقل تكلفة.



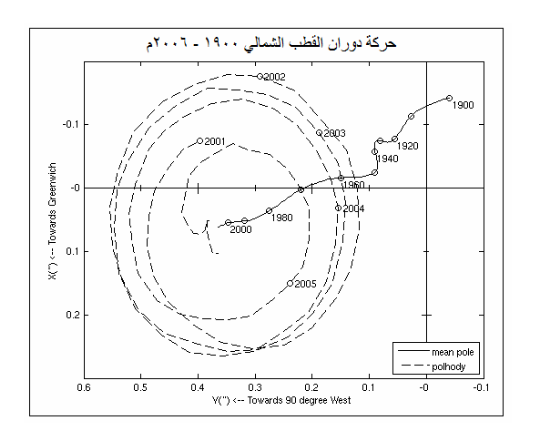
شكل (٤-٣) انتفاء شرط الرؤية المبادلة بين نقاط الرصد الأرضية



شكل (٤-٤) إنشاء و ربط الشبكات الجيوديسية العالمية

٣. يمكن اعتبار الأقمار الصناعية كمجسات أو أجهزة استشعار sensors لمجال الجاذبية الأرضية للأرض، ومن خلال متابعة و رصد القمر الصناعي في مدارة يمكن معرفة التغير في مجال الجاذبية الأرضية المؤثر علي القمر الصناعي لحظة بلحظة. وبالتالي تستخدم الأقمار الصناعية في رصد و قياس قيم الجاذبية الأرضية للأرض ومن ثم تحديد شكلها الحقيقي (الجيويد). هذه الخاصية أو المبدأ هو ما أنشأ الطريقة الديناميكية Dynamical Method في جيوديسيا الأقمار الصناعية.

٤. بالتكامل بين كلا من الطريقة الهندسية و الطريقة الديناميكية تمكنت جيوديسيا الأقمار الصناعية من رصد و متابعة و تحديد قيم التغيرات التي تحدث بمرور الزمن وخاصة في العناصر الأساسية للأرض مثل عناصر دوران الأرض و حركة القطب الشمالي polar motion.



شكل (٤-٥) حركة دوران القطب الشمالي للأرض

٤-١-٢ تاريخ جيوديسيا الأقمار الصناعية

يمكن تقسيم تاريخ جيوديسيا الأقمار الصناعية إلي عدة فترات تشمل:

(أ) من ١٩٥٧م إلي ١٩٧٠م:

مع إطلاق القمر الصناعي الأول في عام ١٩٥٧م والقمر الصناعي الثاني في عام ١٩٥٨م بدأت المرحلة العلمية لدراسة هذا التخصص الجديد من تخصصات الجيوديسيا. لم يمر عام واحد إلا وبدأت نتائج جيوديسيا الأقمار الصناعية في الظهور حيث قام العالم O'Keefe في عام ١٩٥٨م بتحديد قيمة تفلطح الأرض (1/f) بقيمة ٢٩٨.٣ من أرصاد الأقمار الصناعية. وفي عام ١٩٦٠م نشر العالم Kaula نظرية مدارات الأقمار الصناعية، وفي عام ١٩٦٢م قامت هيئة المساحة الفرنسية IGN بربط الشبكات الجيوديسية بين كلا من فرنسا و الجزائر من خلال أرصاد الأقمار الصناعية.

(ب) من ١٩٧٠م إلي ١٩٨٠م:

تميزت هذه الفترة بالمشروعات العلمية وتم ابتكار تقنيات جديدة مثل الرصد علي القمر الطبيعي وتقنية الرصد بالليزر علي الأقمار الصناعية SLR. كما بدأت الحكومة الأمريكية في تطوير تقنية عالمية لتحديد المواقع تحت مسمي TRANSIT (أو تقنية الدوبلر) التي شاع استخدامها

في أعمال المساحة و الجيوديسيا في عدة دول حول العالم. أيضا قام الاتحاد السوفيتي سابقا (روسيا حاليا) في إطلاق النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف باسم جلوناس GLONASS. كما بدأت مرحلة تطوير نماذج عالمية أكثر دقة للجيويد.

(ج) من ١٩٨٠م إلي ١٩٩٠م:

تعد هذه المرحلة هي المرحلة التطبيقية لجيوديسيا الأقمار الصناعية علي نطاق عالمي واسع، وخاصة مع بدء تشغيل تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع (الجي بي أس GPS) في منتصف الثمانينات. زادت دقة أرصاد و قياسات جيوديسيا الأقمار الصناعية كثيرا وبدأت في إحلال الطرق الجيوديسية التقليدية في أعمال المساحة و الخرائط.

(د) من ١٩٩٠م إلي ٢٠٠٠م:

تميزت هذه المرحلة بالأعمال و التطبيقات الجيوديسية علي المستوي العالمي، فظهرت المنظمة العالمية لدراسة دوران الأرض International Earth Rotation Service (اختصارا IERS) في عام ١٩٨٧م وظهر أيضا الإطار العالمي المرجعي الأرضي International Terrestrial Reference Frame (أو اختصارا ITRF) وكذلك المنظمة العالمي للجي بي أس International GPS Service (أو اختصارا IGS). وكل هذه المنظمات الدولية تعتمد علي تقديم خدمات تقنية لمستخدمي جيوديسيا الأقمار الصناعية علي المستوي العالمي وبدون مقابل مادي.

(ذ) من ٢٠٠٠م إلي الآن:

مازالت الانجازات العلمية لجيوديسيا الأقمار الصناعية مستمرة حيث زادت دقة الأرصاد بصورة كبيرة. مع إطلاق الأقمار الصناعية المخصصة لدراسة الجاذبية الأرضية (مثل القمر CHAMP والقمر GRACE والقمر GOCE) أمكن تطوير نماذج جيويد عالمية دقيقة. كما بدأت الحكومة الأمريكية في إطلاق الجيل الثاني من أقمار الجي بي أس وبدأ الاتحاد الأوروبي في إطلاق النظام الأوروبي لتحديد المواقع جاليليو، وكذلك الحكومة الصينية التي بدأت في تنفيذ نظامها الخاص لتحديد المواقع والذي سيكون متاحا للاستخدام العالمي أيضا.

٤-١-٣ تطبيقات جيوديسيا الأقمار الصناعية

في الجيوديسيا العالمية:

- تحديد الشكل العام للأرض و مجال جاذبيتها.
- تقدير أبعاد الاليبسويد الممثل للأرض.
- إنشاء إطار مرجعي أرضي عالمي.
- تحديد الجيويد الدقيق كإطار لتمثيل سطح الأرض.
- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة.
- ربط المراجع الوطنية بالمراجع العالمية.

في شبكات الثوابت الأرضية:

- إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الجيوديسية للدول.
- إنشاء الشبكات ثلاثية الأبعاد.
- تحديث وزيادة دقة الشبكات الجيوديسية القائمة.
- ربط الشبكات الجيوديسية بين اليابسة و الجزر.
- تكثيف الشبكات الجيوديسية القائمة.

في الجيوديسيا الديناميكية:

- إنشاء نقاط متابعة تحركات القشرة الأرضية.
- التحليل المستمر لحركة دوران الأرض.
- تحديد حركة دوران القطب الشمالي.

في الجيوديسيا التطبيقية:

- الرفع المساحي التفصيلي لمشروعات المساحة و الخرائط و التخطيط الإقليمي و تخطيط المدن و نظم المعلومات الجغرافية.
- إنشاء شبكات الثوابت الأرضية للمشروعات الهندسية.
- إنشاء نقاط الثوابت الأرضية للمساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد.
- تحديد مواقع (إحداثيات) كاميرات التصوير الأرضي و الجوي.
- إنشاء نقاط الثوابت الأرضية لمشروعات الزراعة و الغابات والتعدين و الجيولوجيا ... الخ.

في الملاحة:

- الملاحة الدقيقة البرية و البحرية و الجوية.
- تحديد مواقع دقيقة لمشروعات المسح البحري و الهيدروجرافي والجيوفيزياء.
- ربط محطات قياس المد و الجزر (لقياس مستوي سطح البحر)
- توحيد المرجع الجيوديسي الرأسي بين الدول.

في مجالات أخري:

- تحديد مواقع القياسات الجيوفيزيقية مثل المسح المغناطيسي سواء في البر أو البحر.
- متابعة و رصد ذوبان الجليد في القطبين الشمالي و الجنوبي.
- تحديد مدارات الأقمار الصناعية علي اختلاف تطبيقاتها.
- دراسة طبقات الغلاف الجوي.

٤-٢ أنواع الارتفاعات

يستخدم الاليبسويد كأحسن شكل هندسي (معلوم المعادلات ويمكن إجراء الحسابات عليه) لتمثيل شكل الأرض. فان كانت الكرة تختلف عن شكل الأرض في حدود ٢١ كيلومتر فأن الاليبسويد لا يختلف عن شكل الأرض إلا في حدود مائة متر تقريبا فقط. هذا علي المستوي الأفقي (تحديد الإحداثيات الأفقية مثل خط الطول و دائرة العرض) بحيث يكون الاليبسويد هو المرجع الأفقي Horizontal Datum للأرض. لكن علي المستوي الرأسي (الارتفاع) فأن الاليبسويد غير مناسب لقياس الارتفاعات حيث أنه يختلف عن شكل الأرض الحقيقي (شكل أ).

حيث أن ثلاثة أرباع سطح الأرض مغطي بالمياه (في المحيطات و البحار) فأن شكل متوسط سطح البحر Mean Sea Level (أو اختصارا MSL) يكاد يمثل شكل الأرض الحقيقي. أما من ناحية مجال الجاذبية الأرضية للأرض فهو يتكون من آلاف الأسطح متساوية الجهد، وهناك أحد هذه الأسطح الذي يكاد يطابق شكل متوسط سطح البحر وقد أطلق علي هذا السطح أسم الجيويد Geoid. أي أن الجيويد هو سطح من أسطح مجال الجاذبية الأرضية الذي يكاد ينطبق مع سطح متوسط سطح البحر، وبالتالي فأنه الشكل الحقيقي لكوكب الأرض. وفي معظم دول العالم فقد تم الاعتماد علي الجيويد ليكون مستوي المقارنة أو المرجع الرأسي Vertical Datum لقياس الارتفاعات.

نظرا لعد انطباق سطح الجيويد مع سطح الاليبسويد فأن الاتجاه العمودي علي الجيويد (اتجاه خيط الشاغول plumb line في الأجهزة المساحية) لا ينطبق مع الاتجاه العمودي علي الاليبسويد عند أي نقطة، لكن توجد زاوية صغيرة بين كلا الاتجاهين ويطلق عليها اسم زاوية انحراف الرأسي Deflection of the Vertical ويرمز لها بالرمز اللاتيني θ (تنطق: ثيتا) كما في الشكل ب. يمكن تحليل زاوية انحراف الرأسي إلي مركبتين: η (تنطق: اكساي) و ξ (تنطق: ايتا). يمكن حساب قيمة مركبتي زاوية انحراف الرأسي من المعادلتين:

$$\xi = \Phi - \varphi \quad (4\text{-}1)$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda)\cos\varphi \quad (4\text{-}2)$$

حيث:

Φ قيمة دائرة العرض الفلكية للنقطة
φ قيمة دائرة العرض الجيوديسية للنقطة
Λ قيمة خط الطول الفلكي للنقطة
λ قيمة خط الطول الجيوديسي للنقطة

إذا تم عمل أرصاد فلكية عند نقطة جيوديسية معينة واستطعنا قياس خط طولها الفلكي و دائرة العرض الفلكية (القيم الحقيقية علي الأرض) فيمكن حساب قيمة مركبتي زاوية انحراف الرأسي عند هذه النقطة من خلال معرفة خط طولها الجيوديسي و دائرة عرضها الجيوديسية (علي

الاليبسويد). وكانت هذه الطريقة تسمي الطريقة الفلك-جيوديسية astro-geodetic method.

قديما عند البدء في إنشاء الشبكات الجيوديسية لدولة ما كان يتم اختيار "أنسب" اليبسويد ليمثل سطح الأرض (غالبا كان هو الاليبسويد الأحدث في ذلك الوقت). عند النقطة الأساسية للشبكة الجيوديسية كان يتم فرض أن الاليبسويد ينطبق علي الجيويد في هذا الموضع، أي أنه كان يتم فرض أن قيمة مركبتي زاوية انحراف الرأسي η و ξ تساويان الصفر. وبالتالي نكون قد غيرنا من وضع الاليبسويد ذاته (عدلنا وضعه الفراغي لكي ينطبق مع الجيويد عند هذه النقطة) ومن ثم فلم يعد هو نفس الاليبسويد العالمي المعروف. هنا نطلق عليه أسم المرجع Datum للدولة.

في المستوي الرأسي فأن ارتفاع النقطة عن سطح الاليبسويد لا يساوي ارتفاعها عن سطح الجيويد حيث أن كلا السطحين لا ينطبقان. يسمي ارتفاع النقطة عن سطح الاليبسويد بالارتفاع الجيوديسي Geodetic Height ويرمز له بالرمز h، بينما يطلق اسم الارتفاع الأرثومتري علي ارتفاع النقطة عن سطح الجيويد ويرمز له بالرمز H (هو المعروف أيضا في المساحة باسم المنسوب). الفرق بين كلا من الارتفاع الجيوديسي و المنسوب هو ما يسمي حيود الجيويد Geoidal Undulation أو ارتفاع الجيويد Geoid Height ويرمز له بالرمز N (شكل ج). العلاقة بين هذه الأنواع الثلاثة للارتفاع تعبر عنها المعادلة:

$$h = H + N \qquad (4\text{-}3)$$

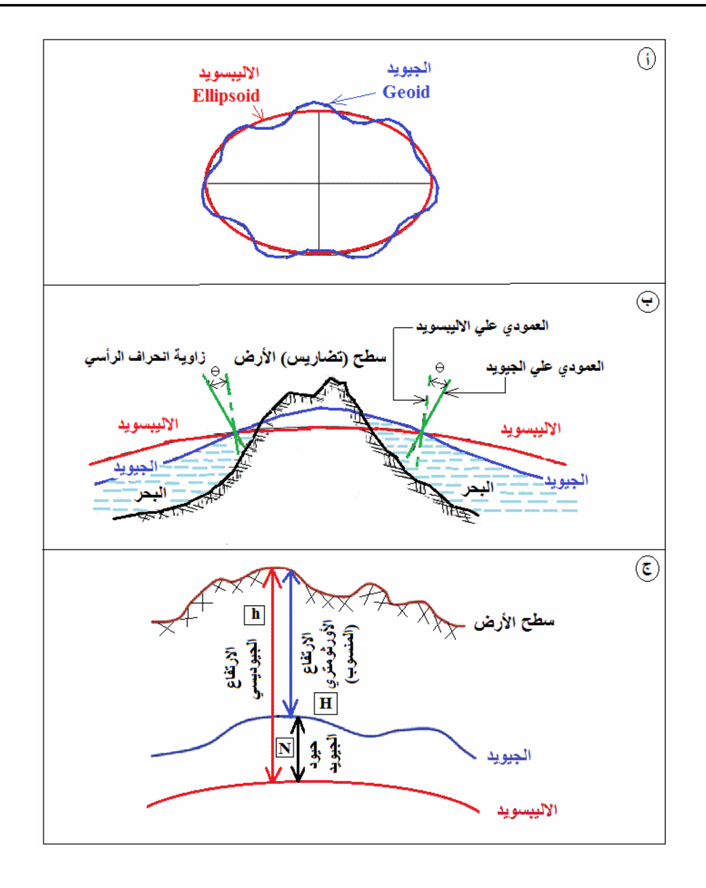
لاحظ أن المعادلة السابقة تفترض أن سطح الجيويد يقع أعلي من سطح الاليبسويد وهذه هي الحالة العامة. أما إن كان سطح الجيويد يقع أسفل سطح الاليبسويد فالمعادلة ستصبح: $h=H-N$.

المعادلة السابقة من أهم معادلات الجيوديسيا حيث منها يمكن تحويل الارتفاع الجيوديسي (المقاس بتقنيات جيوديسيا الأقمار الصناعية مثل الجي بي أس) إلي الارتفاع الأرثومتري أو المنسوب المستخدم في المساحة الأرضية والخرائط في معظم دول العالم. يتم ذلك من خلال معرفة قيمة حيود الجيويد عند هذه النقطة (توجد طرق عديدة لقياس وحساب حيود الجيويد كما سنري).

أيضا عند البدء في إنشاء الشبكات الجيوديسية لدولة ما فقد كان يتم فرض أن قيمة حيود الجيويد N عند النقطة الأساسية تساوي الصفر. وبالتالي نكون قد غيرنا من وضع الاليبسويد ذاته (عدلنا وضعه الرأسي أيضا لكي ينطبق مع الجيويد عند هذه النقطة) ومن ثم فلم يعد هو نفس الاليبسويد العالمي المعروف. هنا نطلق عليه أسم المرجع Datum للدولة.

أي أن لتغيير الاليبسويد العالمي إلي مرجع وطني (يناسب دولة معينة) فيتم عند النقطة الأساسية للشبكة الجيوديسية افتراض أن:

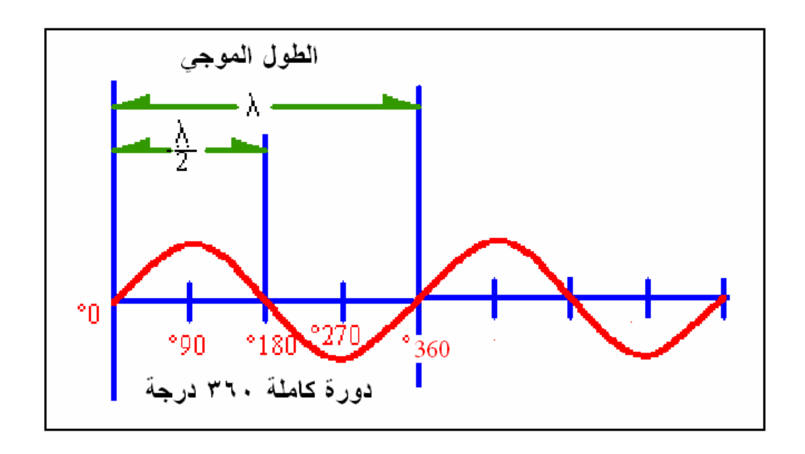
$\eta = 0$
$\xi = 0$
$N = 0$



شكل (٤-٦) الجيويد و أنواع الارتفاعات

٤-٣ إشارات الأقمار الصناعية

ينتشر الضوء (أي موجة كهرومغناطيسية) في الفراغ علي هيئة منحني أقرب ما يكون لمنحني جيب الزاوية sinusoidal curve المعروف، و الذي يحدد طول الموجة الواحدة wavelength (نرمز لها بالرمز λ) وزاوية الطور Phase angle التي تبلغ ٣٦٠° درجة للدورة الكاملة (نرمز لها بالرمز θ).



شكل (٤-٥) انتشار الضوء

تعد المعادلة الأساسية للضوء هي:

$$v = \lambda . f \qquad (4\text{-}4)$$

حيث:

v سرعة الموجة بوحدات المتر/ثانية.

λ طول الموجة بوحدات المتر.

f التردد بوحدات الهرتز (عدد الدورات في الثانية).

وبناءا علي طول الموجة فيمكن تقسيم الضوء إلي عدة أنواع منها علي سبيل المثال:

أشعة الراديو والتلفزيون:	طول الموجة لها اكبر من ١ متر.
أشعة الميكروويف:	يتراوح طول الموجة بين ١ – ١٠٠ سنتيمتر.
الضوء المرئي:	يتراوح طول الموجة بين ٠.٣٨ – ٠.٧٢ ميكرومتر.
الأشعة الحمراء القريبة:	يتراوح طول الموجة بين ٠.٧٢ – ١.٣٠ ميكرومتر.
الأشعة تحت الحمراء المتوسطة:	يتراوح طول الموجة بين ١.٣٠ – ٣.٠٠ ميكرومتر.
الأشعة تحت الحمراء البعيدة:	يتراوح طول الموجة بين ٣.٠٠ – ١٠٠٠ ميكرومتر.
الأشعة فوق البنفسجية:	يتراوح طول الموجة بين ٠.١ – ٠.٤ ميكرومتر.
أشعة جاما:	طول الموجه لها اصغر من ٠.٠٣ نانومتر
أشعة أكس:	يتراوح طول الموجة بين ٠.٠٣ – ٣٠٠ نانومتر.

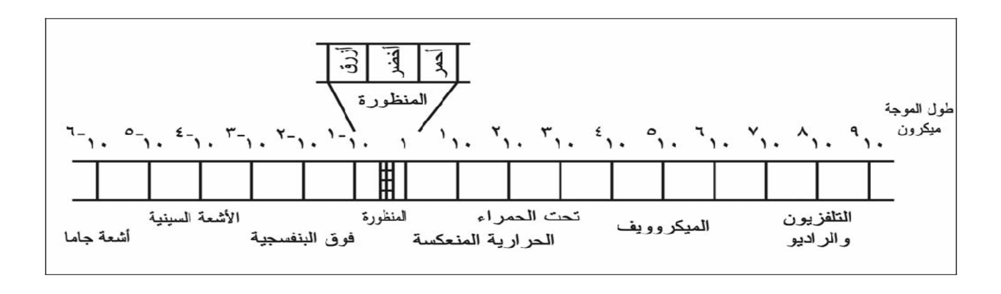
حيث:

ميكرومتر أو الميكرون = جزء من ألف مليون جزء من المتر ، أي ١×١٠^{-٩} متر.

النانومتر = جزء من ألف جزء من الميكرومتر ، أي ١×١٠^{-١٢} متر.

إما الضوء المرئي (الذي تستطيع عين الإنسان رؤيته) فينقسم إلي عدة ألوان هي:

البنفسجي:	طول الموجة ٠.٣٨ – ٠.٤٥ ميكرون.
الأزرق:	طول الموجة ٠.٤٥ – ٠.٥٠ ميكرون.
الأخضر:	طول الموجة ٠.٥٠ – ٠.٥٨ ميكرون.
الأصفر:	طول الموجة ٠.٥٨ – ٠.٥٩ ميكرون.
البرتقالي:	طول الموجة ٠.٥٩ – ٠.٦٢ ميكرون.
الأحمر:	طول الموجة ٠.٦٢ – ٠.٧٠ ميكرون.



شكل (٤-٦) الطيف الكهرومغناطيسي

حتى يمكن قياس طور موجة القمر الصناعي بدقة فأن جهاز الاستقبال (مثلا مستقبل الجي بي أس) يقوم جهاز الاستقبال بتوليد موجة داخلية تعادل في ترددها تردد موجة القمر الصناعي ذاتها. ومن ثم يقوم الجهاز بمقارنة طور كلا الموجتين عن طريق قياس فرق الطور carrier phase or carrier beat phase والذي يكون دالة في المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال في لحظة الرصد. لكن هذا الفرق في الطور يتكون من جزأين: (١) العدد الصحيح integer للموجات الكاملة ، (٢) أجزاء الموجات عند كلا من جهاز الاستقبال و القمر الصناعي. وهنا تأتي أهم المشاكل التي تواجه نوع هذه الأرصاد: جهاز الاستقبال يستطيع وبكل دقة قياس أجزاء الموجات لكنه لا يستطيع تحديد عدد الموجات الكاملة. ومن ثم فأن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمي الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض Ambiguity (N') يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع (شكل ٤-٧ وشكل ٤-٨).

فرق الطور Φ_B عند جهاز الاستقبال B هو الفرق بين طور الإشارة الملتقطة من القمر الصناعي Φ_{CR} وطور الإشارة الثابتة المولدة في جهاز الاستقبال Φ_o:

$$\Phi_B = \Phi_{CR} - \Phi_o \qquad (4-5)$$

والذي يمكن كتابته بصورة أخري كالآتي:

$$\Phi_{CR} = (2\pi / \lambda') (| X_i - X_B | - N'_{Bi} \lambda + c\, dt_U) \qquad (4-6)$$

حيث:

X_i متجه vector موقع القمر الصناعي

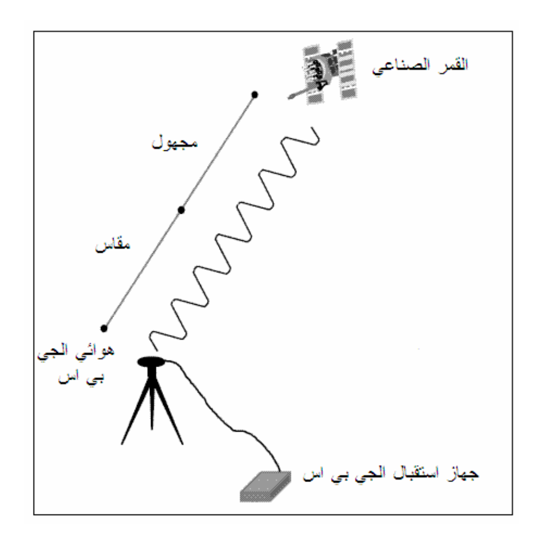
X_B متجه vector موقع جهاز الاستقبال

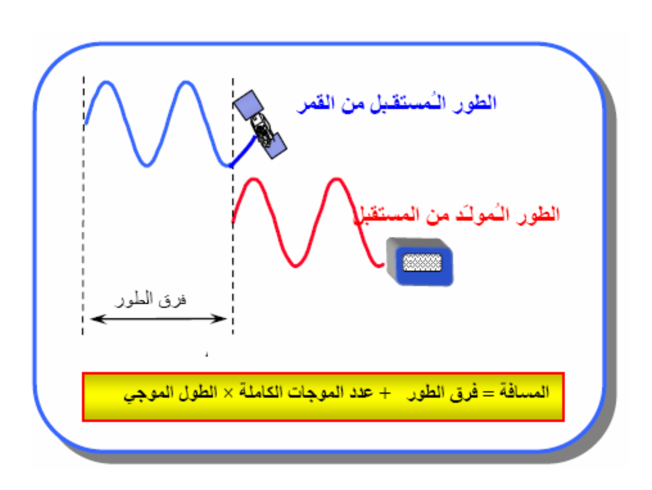
λ' طول الموجة الحاملة.

c سرعة الضوء.

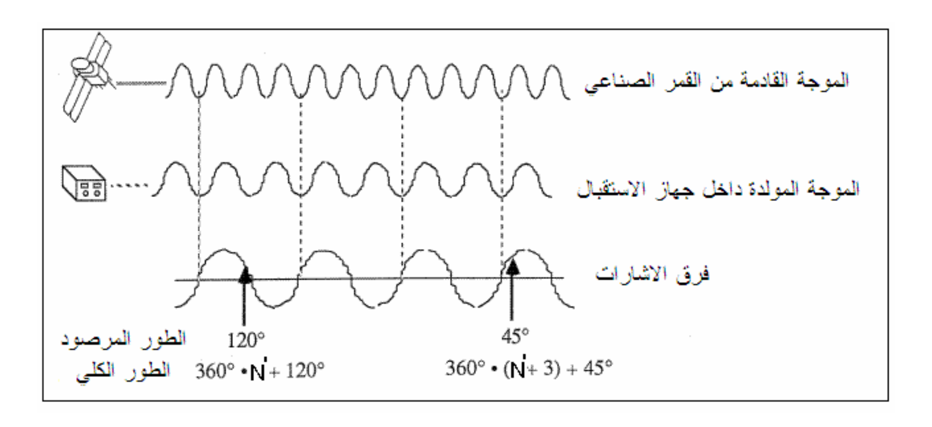
dt_u خطأ التزامن بين زمن نظام الجي بي أس و ساعة جهاز الاستقبال.

N' هو الغموض أو عدد الموجات الصحيحة.





شكل (٤-٧) أرصاد فرق طور الموجة الحاملة



شكل (٤-٨) كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة

٤-٤ الغلاف الجوي

يتكون الغلاف الجوي للأرض من عدة طبقات تختلف في خصائصها الفيزيائية و الكيمائية وأيضا في تأثيراتها علي الموجات الضوئية المارة بها:

الارتفاع (كم)	الحرارة	التأين	المجال المغناطيسي	التأثير علي الموجات	التقسيم التقني
٠٠٠ ١٠٠٠	الثرمو سفير	البروتونو سفير	الماجنيتو سفير	الأيونو سفير	الغلاف الجوي الأعلى
١٠ ٠٠٠					
١٠٠٠		الأيونو سفير			
١٠٠	الميثو سفير		الدينامو سفير	التروبو سفير	الغلاف الجوي الأسفل
١٠	التروبو سفير	النيترو سفير			

من وجهة نظر جيوديسيا الأقمار الصناعية فأن التأثيرات علي الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية تأتي غالبا من طبقتي:

طبقة التروبوسفير:

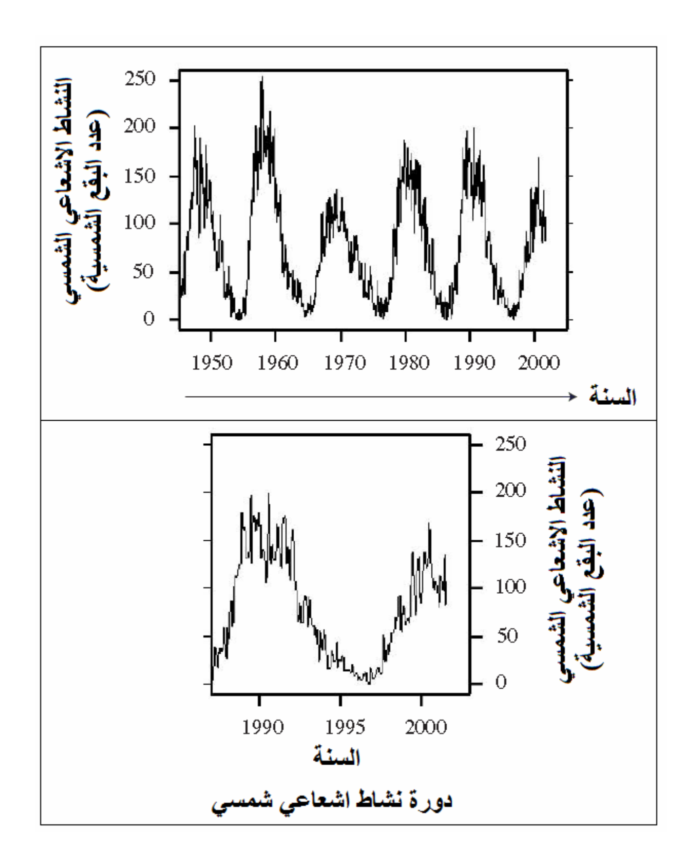
الجزء الأسفل من الغلاف الجوي والذي يمتد من سطح الأرض حتى ارتفاع ٤٠ كيلومتر تقريبا، إلا أن ما يقرب من ٩٠% من كتلة طبقة التروبوسفير موجود علي ارتفاع أقل من ١٦ كيلومتر. في هذه الطبقة تتأثر إشارات الأقمار الصناعية بناءا علي كم الرطوبة و درجة حرارة طبقة التروبوسفير، فعلي سبيل المثال فأن درجة حرارة الغلاف الجوي تنقص بمعدل ٦.٥ درجة مئوية لكل كيلومتر في الارتفاع.

طبقة الأيونوسفير:

الجزء العلوي من الغلاف الجوي والذي يمتد تقريبا بين ارتفاع ٧٠ و ١٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض. تؤثر هذه الطبقة علي إشارات الأقمار الصناعية من خلال إطلاق شحنات كهربائية (أيونات) حرة في الغلاف الجوي. يرجع السبب في وجود هذه الايونات (الشحنات) الحرة إلي شدة النشاط الإشعاعي للشمس والذي يختلف من وقت إلي آخر في اليوم وأيضا يختلف مع مرور الزمن. يمكن تقسيم طبقة الأيونوسفير إلي عدة طبقات فرعية طبقا لكثافة الأيونات الموجودة في كل طبقة:

الطبقة	الطبقة D	الطبقة E	الطبقة F1	الطبقة F2
الارتفاع (كم)	٦٠ - ٩٠	٨٥ - ١٤٠	١٤٠ - ٢٠٠	٢٠٠ - ١٠٠٠
كثافة الايونات في النهار (أيون/سم^{٣})	$١٠^{٢}$ – $١٠^{٤}$	$١٠^{٥}$	٥×١٠^{٥}	$١٠^{٦}$
كثافة الأيونات في الليل (أيون/سم^{٣})	–	٢×١٠^{٣}	٥×١٠^{٤}	٣×١٠^{٥}

يتغير النشاط الإشعاعي الشمسي في دورة تبلغ تقريبا ١١ سنة، وكانت أقصي ذروة (أكبر قيمة) له في عام ٢٠١١م (في سنوات ذروة النشاط الإشعاعي يكون التأثير علي إشارات الأقمار الصناعية في أقصي قيمه أيضا):



شكل (٤-٩) دورات النشاط الإشعاعي الشمسي

تأتي خطورة طبقة الأيونوسفير علي إشارات الأقمار الصناعية أن هذه الطبقة متغيرة علي مدار اليوم وعلي مدار السنة أيضا، مما يجعل نمذجة تأثير طبقة الأيونوسفير علي إشارات الأقمار الصناعية صعبة خاصة للمسافات الكبيرة (بين نقاط الرصد الجيوديسية) حيث ستتأثر الإشارات عند كل نقطة رصد بقيمة مختلفة عن الأخرى بسبب اختلاف طبيعة جزء طبقة الأيونوسفير الموجود أعلي كل نقطة. إلا أن المحاولات العلمية مستمرة لتطوير نماذج تصحيح تأثير الأيونوسفير علي إشارات الأقمار الصناعية بهدف زيادة دقة هذه النماذج و من ثم زيادة دقة الإحداثيات الأرضية (المواقع) المرصودة. فعلي سبيل المثال تنشر المنظمة العالمية للجي بي أس (منذ عام ١٩٩٦م) نماذج مستمرة عن تأثير الأيونوسفير علي أرصاد الجي بي أس علي المستوي العالمي، ويمكن الحصول علي هذه النماذج مجانا من موقع المنظمة علي الانترنت واستخدامها في حسابات أرصاد الجي بي أس.

٤-٥ حركة الأقمار الصناعية

تعد دراسة حركة و ديناميكية الأجرام السماوية تخصصا علميا يجمع بين عدة أفرع أو علوم في إطار علوم الأرض بصفة عامة، إلا أن هذا الفرع يسمي الميكانيكا السماوية أو الفلكية Celestial Mechanics. تعود بداية هذا الفرع إلي العالم الكبير اسحق نيوتن عندما نشر كتابا في عام ١٦٨٧م يصف به قوانين الجاذبية الأرضية والحركة بين أي جسمين يتعرض كلا

منهما لقوة جاذبية الآخر طبقا لكتلته. أيضا شكل العالم يوهان كيبلر (١٥٧١-١٦٣٠م) قوانينه الثلاثة المعروفة باسمه (قوانين كيبلر للحركة Keplarian motion) التي تعطي وصفا رياضيا لحركة الكواكب بصورة مبسطة (عن نظرية نيوتن) حيث يمكن إهمال كتلة أي كوكب بالمقارنة بكتلة الشمس ذاتها. تستعمل قوانين كيبلر لوصف حركة الأقمار الصناعية أيضا حيث يمكن إهمال كتلة القمر الصناعي بالمقارنة بكتلة الأرض ذاتها.

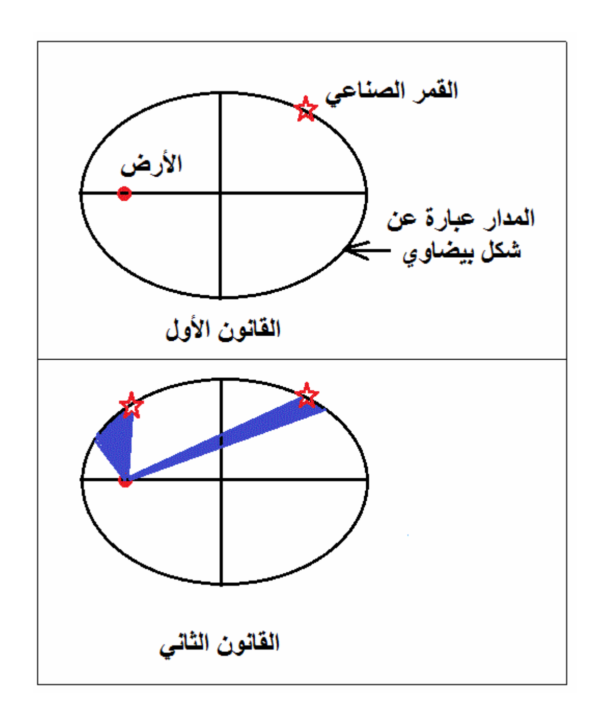
قانون كيبلر الأول:

أن مسار الكوكب (أو القمر الصناعي) هو قطع ناقص ellipse تقع الشمس (الأرض) في أحدي بؤرتيه. تأتي أهمية هذا القانون من أنه يحدد نوع المدار (قطع ناقص وليس دائرة) و من ثم المعادلات التي يمكننا استخدامها فيما بعد.

قانون كيبلر الثاني:

الخط الواصل من الشمس (الأرض) إلي أي كوكب (قمر صناعي) يقطع مساحات متساوية من الفضاء خلال أزمن متساوية، ولذلك يسمي هذا القانون بقانون المساحات. نستنتج من هذا القانون أن سرعة الكوكب (القمر الصناعي) ستزيد كلما أقترب من الشمس (الأرض) وتقل كلما أبتعد عنها. تأتي أهمية هذا القانون من أنه يمكننا من تحديد موقع أي قمر صناعي – في مدارة البيضاوي – في أي لحظة زمنية معينة.

قانون كيبلر الثالث:
أن مكعب أنصاف المحور الأكبر لمدارات الكواكب (الأقمار الصناعية) تتناسب مع مربع طور دوراناتها.



شكل (٤-١٠) قوانين كيبلر لحركة الأقمار الصناعية

تشكل قوانين كيبلر الحالة العامة (النظرية) لحرمة الأقمار الصناعية في الفضاء بافتراض أن القمر الصناعي لن يتأثر بأي قوي خارجية أخري ويحافظ علي دورانه في المدار البيضاوي. لكن بالطبع فأن الواقع الحقيقي يختلف عن هذه الحالة المثالية (فمثلا قيمة مجال الجاذبية الأرضية تختلف من مكان لآخر كما تختلف شدة الإشعاع الشمسي من زمن لآخر) مما يخلق مدارات غير مثالية أو مدارات مضطربة قليلا Perturbed Orbits للأقمار الصناعية.

مصدر التأثير	قيمة التأثير علي مدار القمر الصناعي	
	في خلال ساعتين	في خلال ٣ أيام
تغير الجاذبية الأرضية	٢ كم	١٤ كم
جذب الشمس و القمر	٥٠-٨٠ متر	١٠٠-١٥٠٠ متر
المد و الجزر	-	٠.٥- ١.٠ متر
ضغط الإشعاع الشمسي	٥-١٠ متر	١٠٠-٨٠٠ متر

من هنا يأتي دور مراكز المراقبة و التحكم في كل منظومة من منظومات أو تقنيات جيوديسيا الأقمار الصناعية (مثل مركز المراقبة و التحكم الخاص بتقنية الجي بي أس) حيث يقوم المركز بمراقبة حركة ومدارات كل قمر صناعي – من خلال محطات المراقبة الأرضية – ليقدر و يحسب مدي شذوذ المدار الحقيقي للقمر الصناعي عن مداره المفترض. ويقوم مركز التحكم و السيطرة بإعادة حساب معاملات مدار القمر الصناعي ويرسل هذه البيانات للقمر نفسه لكي يعدل من حسابات موقعه في الفضاء في كل لحظة. هذه البيانات (المعروفة باسم المدارات الدقيقة للقمر الصناعي Precise Satellite Orbits) تكون متاحة للمستخدمين مجانا بعد عدة أيام. يمكن للمستخدم إعادة حسابات قياسات (أرصاد) العمل الجيوديسي الذي قام به باستخدام المدارات الدقيقة حيث سيزيد ذلك من دقة إحداثيات (مواقع) النقاط الجيوديسية الأرضية التي قام برصدها في مشروعه.

٤-٦ ارتفاع مدارات الأقمار الصناعية

تختلف ارتفاعات الأقمار الصناعية عن سطح الأرض طبقا لوظيفة كل قمر صناعي، لكن بصفة عامة يمكن تقسيم ارتفاعات مدارات الأقمار الصناعية إلي عدة فئات تشمل:

(أ) المدارات قليلة الارتفاع حتى ٢٠٠٠ كم Low Orbits:

هذه المدارات تكون غالبا دائرية ومن أنواع الأقمار الصناعية التي تتبع هذه الفئة أقمار دراسة الجاذبية الأرضية مثل أقمار CHAMP و GRACE و GOCE التي تدور علي ارتفاع تقريبا ٤٠٠ كيلومتر. أما الأقمار غير الجيوديسية التي تنتمي لهذه الفئة فتكون مداراتها بيضاوية مثل أقمار الاستشعار عن بعد SPOT و LANDSAT و ERS التي تبلغ ارتفاعاتها ما بين ٨٠٠ إلي ١٠٠ كيلومتر. كما تنتمي أقمار الاتصالات إلي هذه الفئة من المدارات. في هذه الفئة تتراوح مدة دوران القمر الصناعي لدورة كاملة حول الأرض ما بين ٩٠ دقيقة و ساعتين. تتميز هذه المدارات قليلة الارتفاع بانخفاض تكلفة إطلاق الأقمار الصناعية وأيضا بقوة إشارة القمر الصناعي عند وصولها لسطح الأرض، لكن من أهم عيوبها أن فترة ظهور القمر الصناعي في أي منطقة علي الأرض تتراوح بين ١٥ و ٢٠ دقيقة مما لا يجعل هذه الأقمار مستخدمة في تحديد المواقع.

(ب) المدارات متوسطة الارتفاع من ٥٠٠٠ إلي ٢٠ ٠٠٠ كم Medium Orbits :

من أهم أنواع الأقمار الصناعية في هذه الفئة من المدارات أقمار تقنيات تحديد المواقع (مثل تقنيات الجي بي أس الأمريكي و الجلوناس الروسي والجاليليو الأوروبي) والتي تبلغ ارتفاعاتها حوالي ٢٠ ألف كيلومتر، وأيضا القمر LAGEOS-2 المستخدم في القياس بالليزر والذي يبلغ ارتفاعه حوالي ٢٤ ألف كيلومتر. تتميز هذه الفئة أن القمر الصناعي يظل مرئيا (متاحا) لعدة ساعات في نفس المنطقة الجغرافية علي الأرض، كما يقل تأثير طبقات الغلاف الجوي علي القمر الصناعي. لكن تكلفة إطلاق هذه الفئة من الأقمار الصناعية يكون أكبر من الفئة الأولي.

(ج) المدارات الثابتة مع الأرض حتى ٣٦ ٠٠٠ كم Geo-Stationary:

حتى يكون القمر الصناعي المخصص للاتصالات (مثل النايل سات و العربسات علي سبيل المثال) يغطي إرساله منطقة جغرافية محددة بصفة دائمة فأنه يتم وضع القمر الصناعي في مدار دائري ثابت مع الأرض. فإذا تم وضع القمر الصناعي في مدار علي ارتفاع ٣٥٨٠٠ كيلومتر و بزاوية ميل تساوي الصفر فأنه سيكمل دورة كاملة – في المدار – في فترة زمنية ٢٤ ساعة، وبالتالي فأنه يدور بنفس سرعة دوران الأرض مما يجعله كما لو كان ثابتا أعلي هذه المنطقة الجغرافية علي مدار اليوم. ويستطيع قمر صناعي واحد – علي هذا الارتفاع – أن يغطي حوالي ثلث سطح الأرض.

(د) المدارات المائلة علي الأرض Inclined Geo-Synchronous:

تماثل هذه الفئة الفئة السابقة من حيث أن مدة دوران القمر تبلغ ٢٤ ساعة إلا أنها تختلف في مقدار ميل المدار علي دائرة الاستواء. وجود زاوية ميل لمدار القمر الصناعي من هذا النوع يجعل إرساله يغطي بصورة أوضح المناطق القريبة من القطبين الشمالي و الجنوبي.

(ذ) المدارات شديدة الشكل البيضاوي Highly Elliptical:

هذه الفئة من مدارات الأقمار الصناعية تكون علي ارتفاع منخفض من سطح الأرض إلا أن مدارها البيضاوي يكون أكبر، والهدف من ذلك تغطية مجال اتصالات القمر الصناعي بصورة أوضح في الأجزاء القريبة من القطبين.

٤-٧ شبكات الثوابت الأرضية ثلاثية الأبعاد (شبكات الجي بي أس)

ذكرنا في الفصل السابق أن الشبكات الجيوديسية كانت تنقسم إلي شبكات ثوابت أرضية أفقية وشبكات أخري رأسية، إلا أنه مع دخول عصر جيوديسيا الأقمار الصناعية فقد أمكن إقامة شبكات ثوابت أرضية ثلاثية الأبعاد 3D. في الشبكات ثلاثية الأبعاد يمكن تحديد الموقع الأفقي (خط الطول و دائرة العرض) والبعد الرأسي (الارتفاع أو المنسوب) لكل نقطة من نقاط الشبكة. تختلف مواصفات شبكات الثوابت ثلاثية الأبعاد عن مواصفات الشبكات الأفقية وذلك بسبب أن تقنيات جيوديسيا الأقمار الصناعية تعتمد علي مبدأ الدقة النسبية (وليست الدقة المطلقة). ففي الشبكات الأفقية كان يتم تحديد دقة إحداثيات نقطة بقيمة مطلقة، مثلا ± ٠.٥ متر. أما دقة أرصاد الأقمار الصناعية فتتكون من جزأين: جزء ثابت و جزء يعتمد علي طول خط القاعدة. الجزء الثابت يكون محصلة الأخطاء الثابتة مثل دقة الجهاز بينما يعتمد الجزء الثاني علي

عناصر الأخطاء الأخرى المؤثرة علي الأرصاد مثل تأثير طبقات الغلاف الجوي علي إشارات الأقمار الصناعية، وبالتالي فأن هذا الجزء يختلف بناءا علي طول خطوط القواعد في الشبكة. مثلا عندما تكون الدقة = ٠.٣ سم ± ١ جزء في المليون (part per million أو اختصارا ppm) فأن الدقة = ٠.٣ سم ± جزء من المليون من طول خط القاعدة (أي ١ ملليمتر لكل ١ كيلومتر من طول الخط). فإذا كان خط القاعدة يبلغ ٨ كيلومتر – مثلا – فأن الدقة ستصبح: ٠.٣ سم + (١ × ٨ ملليمتر) = ٠.٣ سم + ٨ ملليمتر = ١.١ سم. لذلك أصبحت مواصفات الشبكات الجيوديسية ثلاثية الأبعاد تعتمد علي مبدأ الدقة النسبية.

الجدول التالي – علي سبيل المثال – يقدم مواصفات دقة الشبكات الجيوديسية ثلاثية الأبعاد المعتمدة في الولايات المتحدة الأمريكية:

نوع العمل الجيوديسي	الدرجة	الخطأ الثابت (سنتيمتر)	الخطأ النسبي المتغير (المعتمد علي طول الخط)	
			جزء من المليون ppm	نسبة
تحركات القشرة الأرضية (عالميا أو إقليميا)	AA	٠.٣	٠.٠١	١ : ١٠٠،٠٠٠،٠٠٠
الشبكات الجيوديسية الأساسية: الدرجة الأولي	A	٠.٥	٠.١	١ : ١٠،٠٠٠،٠٠٠
الشبكات الجيوديسية: الدرجة الثانية	B	٠.٨	١	١ : ١،٠٠٠،٠٠٠
الشبكات الجيوديسية: الدرجة الثالثة (بدرجاتها المتعددة)	C: 1 2-I 2-II 3	 ١.٠ ٢.٠ ٣.٠ ٥.٠	 ١٠ ٢٠ ٥٠ ١٠٠	 ١ : ١٠٠،٠٠٠ ١ : ٥٠،٠٠٠ ١ : ٢٠،٠٠٠ ١ : ١٠،٠٠٠

الفصل الخامس

النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس

٥-١ تحديد المواقع بالاعتماد على الأقمار الصناعية

قبل بدء عصر الأقمار الصناعية توصل العلماء إلي طريقة جديدة لتحديد المواقع بالاعتماد علي الموجات الراديوية أو الكهرومغناطيسية ، وكان المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو قياس الزمن الذي تستغرقه الموجه الراديوية في الرحلة ذهابا و عودة بين محطة البث أو الإرسال Transmitting Station وجهاز الاستقبال Receiver. فإذا استخدمنا القاعدة العلمية المعروفة:

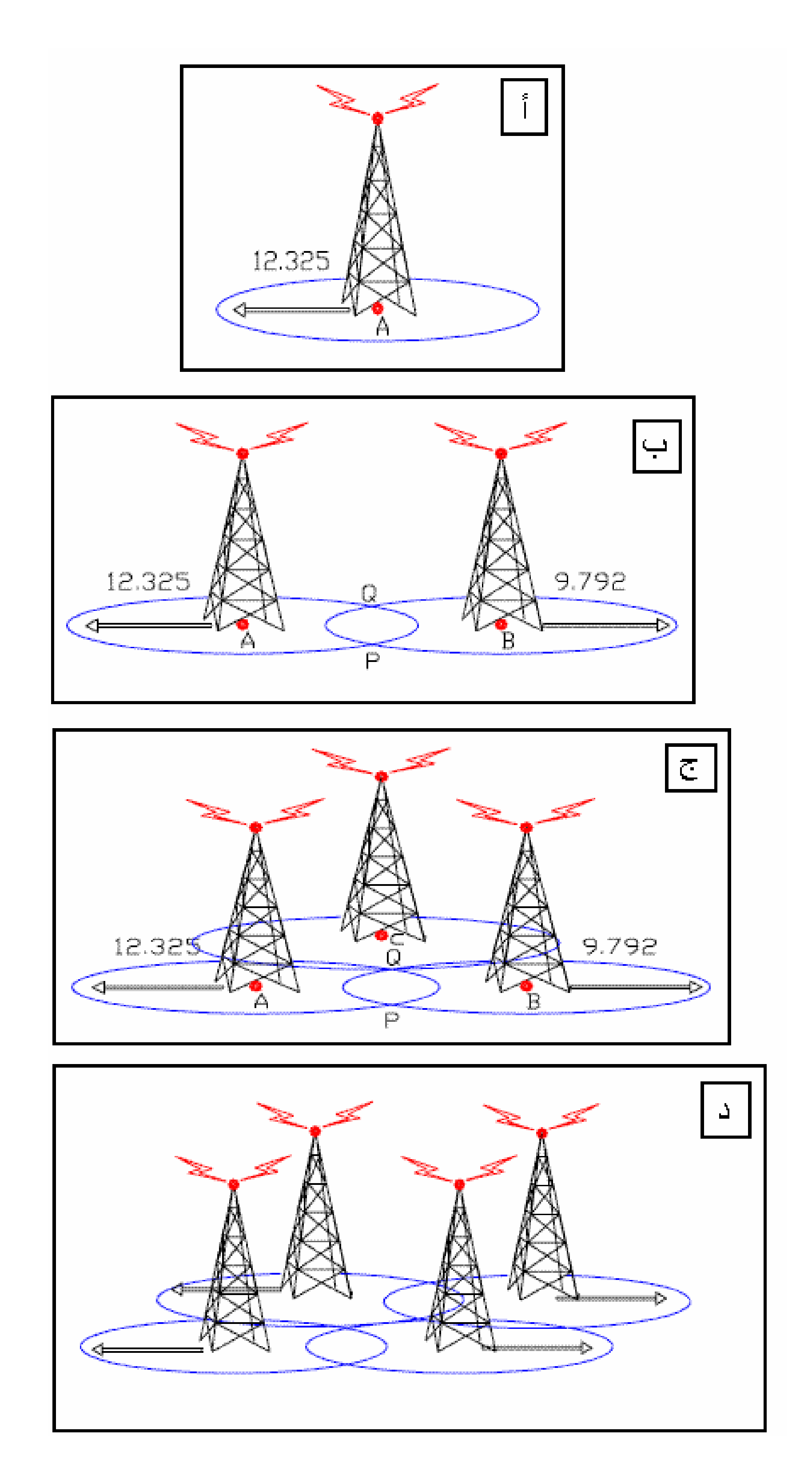
المسافة = السرعة × الزمن (٥-١)

وباعتبار أن سرعة الموجة تعادل سرعة الضوء (حوالي ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية) فيمكننا حساب المسافة بين محطة الإرسال و جهاز المستقبل. لكن يتبادر إلي الأذهان السؤال التالي: كيف يمكن لهذه الفكرة - أو هذه المسافة التي يمكن حسابها – أن تستخدم في تحديد موقع شخص معين؟ الإجابة سهلة و تتكون من (شكل ٥-١):

نفترض أن برج إرسال قد تم وضعه فوق نقطة معلومة الموقع ولتكن نقطة A علي سطح الأرض ، ونحن لدينا وحدة أو جهاز استقبال لهذه الموجات الراديوية في موقع ما غير معلوم. عند فتح جهاز الاستقبال وقياس (أو حساب) المسافة بين هذا الموقع المجهول و المحطة أو البرج عند A وجدنا أنها تساوي ١٢.٣٢٥ متر مثلا. إن هذه المعلومة (شكل ٥-١ أ) لا تخبرنا أين موقعنا بالضبط ولكنها تقرب موقعنا إلي أي نقطة علي محيط الدائرة التي نصف قطرها يساوي ١٢.٣٢٥ متر حول برج الإرسال A (وهو البرج المعلوم موقعه مسبقا). الآن نفترض أننا قمنا بتثبيت برج إرسال ثاني فوق نقطة معلومة أيضا ولتكن B علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة قمنا بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الراديوية فكانت تساوي ٩.٧٩٢ متر.هذه المعلومة الجديدة تخبرنا أيضا أننا نقع علي محيط دائرة مركزها نقطة B ونصف قطرها يساوي ٧.٧٩٢ متر. أي أننا موجودين علي بعد ١٢.٣٢٥ متر من نقطة A وأيضا علي بعد ٩.٧٩٢ متر من نقطة B. وهذا يؤدي بنا أننا نقع عند تقاطع هاتين الدائرتين ، أما عند نقطة P أو عند نقطة Q (شكل ٥-١ ب). أي أننا نستخلص أن وجود برجين إرسال يمكننا من تحديد احتمال موقع من موقعين ، ولا يخبرنا بالضبط أين نحن. نحتاج الآن لبرج إرسال ثالث يتم وضعه عند نقطة معلومة و لتكن C علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة نقوم بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الراديوية. هذه المسافة الثالثة ستخبرنا بكل تأكيد هل نحن عند النقطة P أو عند النقطة Q (شكل ٥-١ ج).

فإذا كانت الأبراج أو محطات الإرسال الثلاثة تعمل باستمرار وفي نفس الوقت ، فأن أي جهاز استقبال لهذه الموجات الراديوية سيستقبل الإشارات المرسلة من المحطات الثلاثة و يمكنه بسرعة تحديد موقعه في هذه اللحظة. فإذا كان جهاز الاستقبال هذا متحركا (أي موجود علي سفينة مثلا) فأنه باستطاعته تحديد موقعه باستمرار عند كل لحظة في مسيرته. فإذا أضفنا برج إرسال رابع فأن هذه المنظومة ستكون ذات كفاءة عالية لان البرج الرابع سيكون حكما للوثوق في إشارات الأبراج الثلاثة الأساسية كما أنه سيكون احتياطيا في حالة عدم استقبال الإشارات

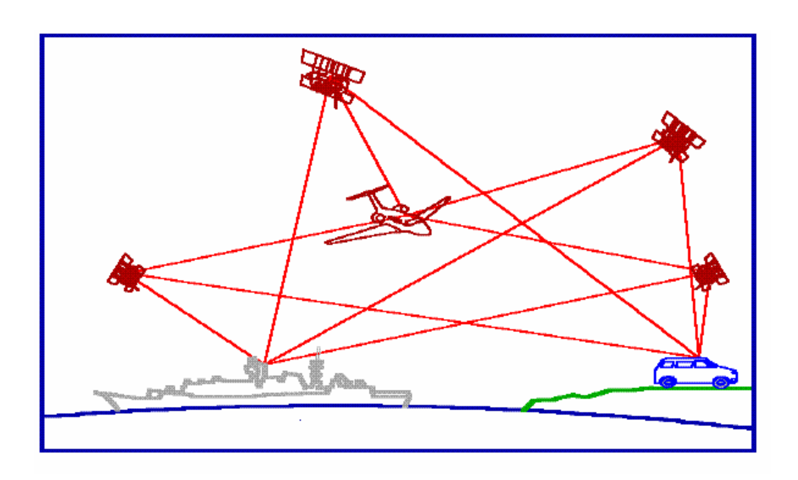
من أيا من الأبراج الثلاثة (شكل ٥-١ د). وتسمي هذه الطريقة لتحديد المواقع بنظم الملاحة الراديوية Radio Navigation Systems.



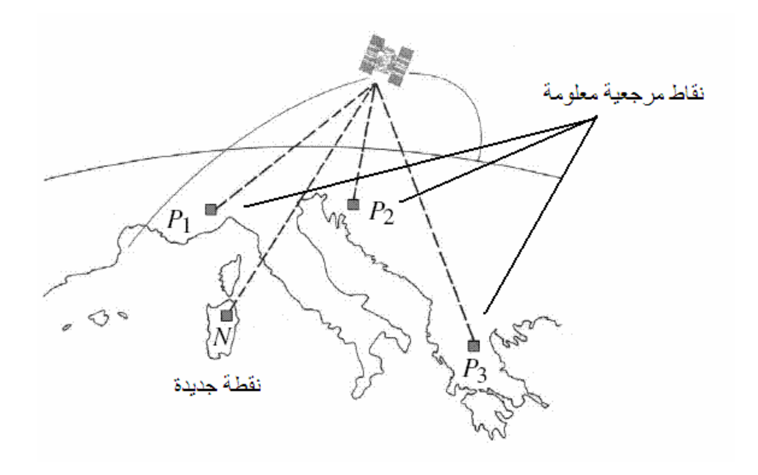
شكل (٥-١) الملاحة الراديوية و تحديد المواقع

من أمثلة هذه النظم الراديوية لتحديد المواقع نظام لوران LORAN وهو اختصارا لاسم "الملاحة للمساحات الشاسعة LOng RAnge Navigation" والذي بدأ في الولايات المتحدة الأمريكية تقريبا في عام ١٩٥٠ ويهدف أساسا لمساعدة السفن في إبحارها. تكون نظام لوران من عدد من السلاسل (السلسلة مكونة من ٤ أبراج إرسال تغطي كل محطة أو برج حوالي ٥٠٠ ميل) ليمكن تغطية الساحل الغربي الأمريكي كله. لكن هذه النظم الملاحية كان لها بعض العيوب أو المعوقات مثل: (١) أي نظام سيكون ذو تغطية محدودة تبلغ حوالي ٥% من سطح الأرض وبالتالي فلن يصلح ليكون نظام ملاحة عالمي ، (٢) يستطيع هذا النظام تحديد المواقع في اتجاهين فقط – أي الموقع الأفقي – لكنه لا يمكنه تحديد الارتفاع في الاتجاه الرأسي، (٣) دقة النظام كانت في حدود ٢٥٠ متر والتي قد يمكن اعتبارها مناسبة للملاحة البحرية لكنها غير مناسبة للملاحة الجوية – للطائرات – أو لطرق المساحة الأرضية التي تتطلب دقة أعلي في تحديد المواقع.

مع ظهور الأقمار الصناعية طبق العلماء نفس مبدأ الملاحة الراديوية في تطوير ما عرف باسم الملاحة بالأقمار الصناعية Satellite Navigation. فإذا استبدلنا محطات الإرسال الأرضية بأقمار صناعية ترسل موجات راديوية يستطيع جهاز الاستقبال أن يتعامل معها ويحسب المسافة من موقعه إلي موقع كل قمر صناعي فيمكن تحديد الموقع الذي به هذا المستقبل. ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: أبراج الإرسال كانت ثابتة و معلومة الموقع وكنا نستخدمها كعلامات مرجعية Reference Points تمكننا من حساب موقع جهاز الاستقبال ، لكن الأقمار الصناعية غير ثابتة فكيف سيمكن التعامل معها؟ الإجابة هي أن كل قمر صناعي يكون معلوم المدار الذي يدور عليه في الفضاء وتكون من أهم مهام الجهة المسئولة عن نظام الأقمار الصناعية أن تراقب كل قمر و تحدد موقعه بكل دقة في كل لحظة، وبالتالي فيمكننا القول أن موقع كل قمر صناعي يكون معلوما في أي لحظة طوال ٢٤ ساعة يوميا ، أي أن كل قمر صناعي سيكون بمثابة نقطة مرجعية (شكل ٥-٢). وطبقا لهذا المبدأ الأساسي فيمكن اعتبار القمر الصناعي – من وجهة النظر المساحية – علي أنه هدف Target عالي الارتفاع ، بحيث إذا أمكن رصده من ثلاثة نقاط أرضية معلومة الإحداثيات فيمكن تحديد موقع نقطة مجهولة ترصد هذا القمر الصناعي في نفس اللحظة (شكل ٥-٣).



شكل (٥-٢) الملاحة بالأقمار الصناعية



شكل (٥-٣) المبدأ المساحي للملاحة بالأقمار الصناعية

تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navy Navigation Satellite System الذي عرف باسم ترانزيت Transit وأيضا باسم نظام دوبلر Doppler - في الستينات من القرن العشرين الميلادي، وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار و المحيطات والمعرفة الدقيقة لإحداثيات المواقع الإستراتيجية. وبالرغم من هذه الأهداف العسكرية إلا أن المهندسين المدنيين قد استخدموا هذا النظام في العديد من التطبيقات المساحية وخاصة إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الدقيقة. أعتمد نظام الدوبلر علي عدد من الأقمار الصناعية التي تدور علي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض حيث يكمل كل قمر دورة كاملة حول الأرض في مدة تبلغ ١٠٧ دقيقة وكانت دقة تحديد المواقع الأرضية اعتمادا علي هذا النظام في حدود ٣٠-٤٠ متر. ومع أن أقمار الدوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (٦ أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح بتواصل الإشارات طوال ٢٤ ساعة يوميا – بل لعدة ساعات طبقا للموقع المطلوب علي الأرض – مما لم يلبي حاجة مستخدمي النظام سواء العسكريين أو المدنيين وأدي ذلك إلي بدء وزارة الدفاع الأمريكية - مع بداية السبعينات - في تطوير نظام ملاحي آخر.

٥-٢ تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس

بدأت عدة جهات علمية و حكومية اقتراح نظم جديدة و في عام ١٩٦٩ قامت وزارة الدفاع بإنشاء برنامج جديد تحت اسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية DNSS لتوحيد الجهود وراء إطلاق نظام ملاحي جديد. وبالفعل تم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم ***"النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System"*** أو اختصارا باسم NAVSRAT GPS ، إلا أنه عرف علي نطاق واسع – بعد ذلك – باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا ***"جي بي أس GPS"***. تم إطلاق أول قمر صناعي في هذا النظام في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وفي ٨ ديسمبر ١٩٩٣ تم إعلان اكتمال النظام مبدئيا Initial Operational Capability (IOC) ، أما الإعلان النهائي لاكتمال النظام رسميا Fully Operational Capability (FOC) فقد كان في ٢٧ أبريل ١٩٩٥. وفي بدايته كان الجي بي أس مقصورا علي الاستخدامات العسكرية للقوات المسلحة الأمريكية وحلفاؤها حتى أعلن الرئيس الأمريكي ريجان في عام ١٩٨٤ السماح للمدنيين باستخدامه (لكن ليس جميع مميزاته أو مستوي الدقة العالية في تحديد المواقع !) ، وكان ذلك

بعد حادثة إسقاط القوات المسلحة الروسية لطائرة ركاب كورية مدنية بعد دخولها بالخطأ في المجال الجوي الروسي. ويدار الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسئولة عن إطلاق الأقمار الصناعية و مراقبتها و التأكد من كفاءة تشغيلها واستبدالها كل فترة زمنية بحيث تكون إشارات هذه التقنية متاحة ٢٤ ساعة يوميا وعلي مدار كل الأيام لجميع المستخدمين علي سطح الأرض. وفي عام ١٩٩٦ تم تكوين لجنة عليا تضم عدد من الوزارات الأمريكية لكي تشرف علي نظام الجي بي أس و تضع السياسات المستقبلية اللازمة ، وسميت باللجنة التنفيذية مابين الوزارات Inter-Agency GPS Executive Board أو اختصارا IGEB (الرابط علي شبكة الانترنت في: http://www.igeb.gov/charter.shtml).

تشتمل تقنية الجي بي أس علي العديد من المميزات التي ساعدت علي انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل ومنها:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة والرعد و البرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في السنوات الماضية وتشمل بعضها:

- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة وتكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
- رصد تحركات القشرة الأرضية.
- رصد إزاحة أو هبوط المنشئات الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.
- أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطبوغرافي.
- إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية Aerial Photogrammetry والمرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد Remote Sensing.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
- تطوير نماذج الجيويد الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems أو GIS ، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services وتطبيقات النقل الذكي Intelligent

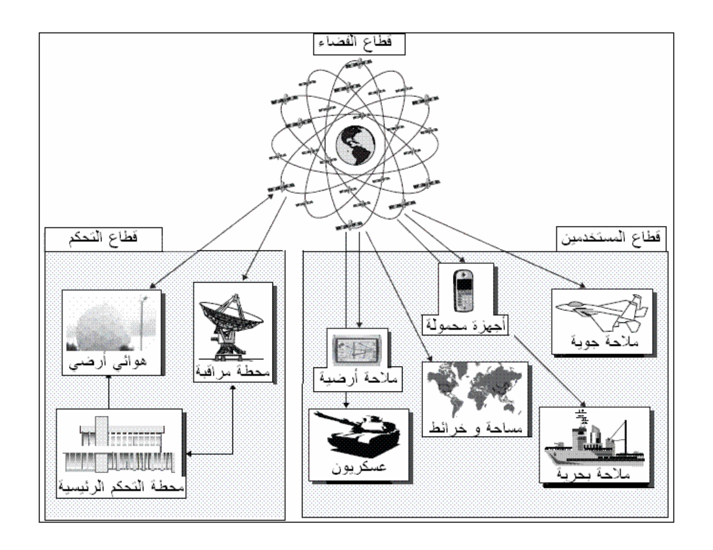
Transportation وأيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS.

- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحدودية المشتركة.
- نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو MMS.
- الرفع الهيدروجرافي و تطوير الخرائط البحرية و النهرية.
- تثبيت و توثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
- بدمج تقنيتي الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية أمكن إنتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

٥-٢-١ مكونات نظام الجى بى أس

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام (شكل ٥-٤) هي:

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.
- قسم التحكم و السيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.



شكل (٥-٤) أقسام الجي بي أس

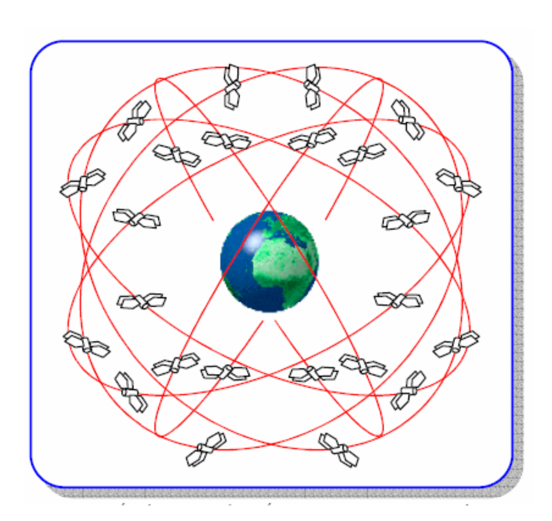
وسنستعرض الملامح الرئيسية لكل قسم من هذه الأقسام الثلاثة.

قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية:

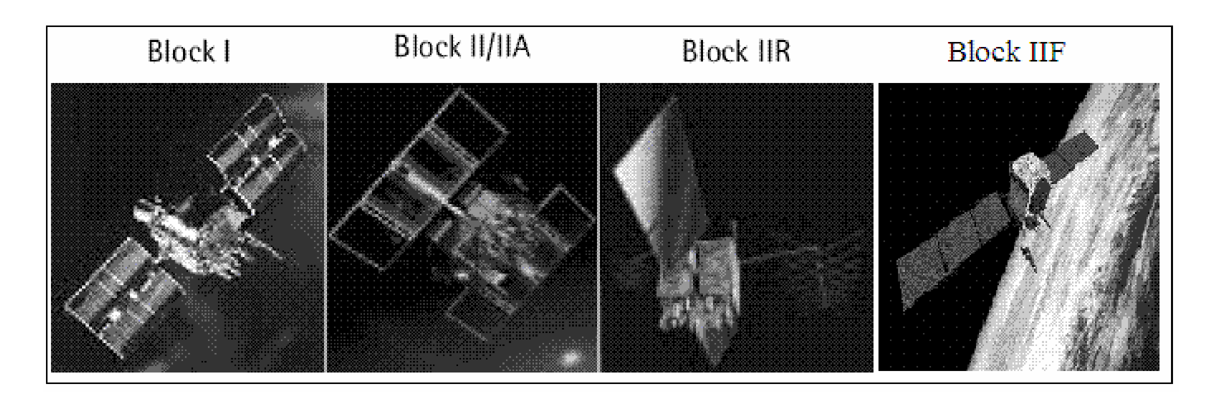
يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجدة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ٥-٥). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر

صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.

تغيرت مواصفات و كفاءة الأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس علي مر السنوات بحيث يمكن تقسيم الأقمار إلي عدد من الأجيال (شكل ٥-٦). بدأت أقمار الجيل الأول – يسمي Block I – وعددهم ١١ قمرا مع بداية تقنية الجي بي أس منذ إطلاق القمر الأول في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وكان آخر أقمار هذا الجيل الذي أطلق في ٩ أكتوبر ١٩٨٥. وكان ميل مدار أقمار الجيل الأول ٦٣° علي مستوي دائرة الاستواء والعمر الافتراضي المصمم للقمر الواحد هو أربعة سنوات و نصف (إلا أن بعضهم بقي يعمل بكفاءة لحوالي عشرة سنوات). وكان الجيل الثاني من الأقمار الصناعية Block II/IIA أكثر كفاءة من سابقه وتكون من ٢٨ قمرا صناعيا تم إطلاقها في الفترة بين فبراير ١٩٨٩ و نوفمبر ١٩٩٧ بحيث يبلغ ميل مدار القمر الصناعي ٥٥° علي دائرة الاستواء ، و زاد العمر الافتراضي للقمر الواحد إلي سبعة سنوات و نصف. ثم تعددت الأجيال الفرعية من الجيل الثاني لتصبح هناك أقمار IIR (٢١ قمر بعمر افتراضي يبلغ عشرة سنوات) وأقمار IIR-M وأقمار IIF (بعمر افتراضي يصل إلي خمسة عشر عاما) ، كما بدأ العمل في تصميم أقمار الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block III.



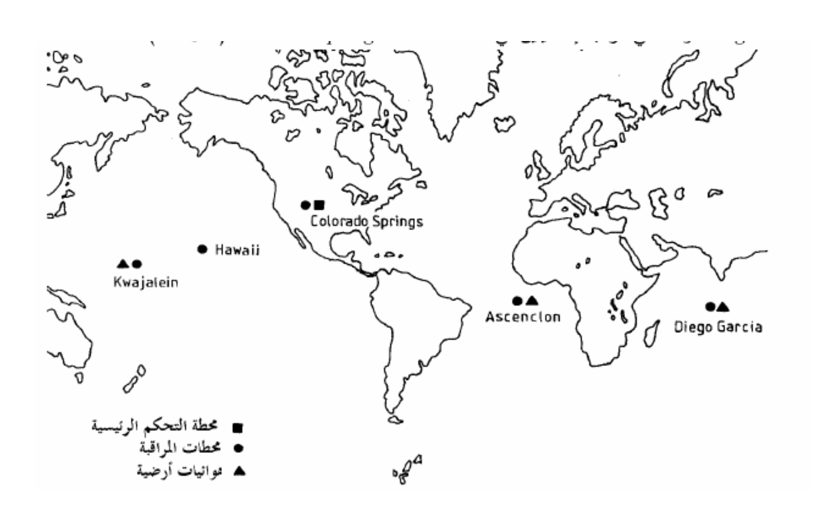
شكل (٥-٥) قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس



شكل (٥-٦) نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس

قسم التحكم و المراقبة:

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم (شكل ٥-٧). تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي. تقوم محطة التحكم الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.



شكل (٥-٧) قسم التحكم و السيطرة

قسم المستقبلات الأرضية:

يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر ، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد (شكل ٥-٨). بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة

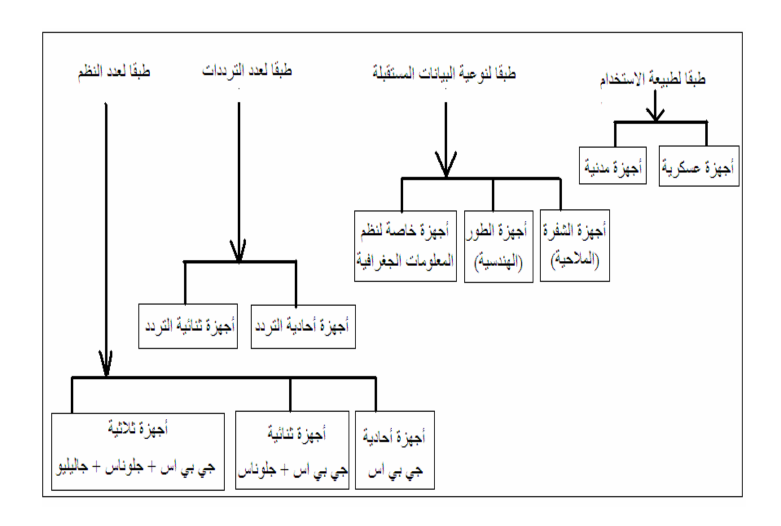
تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات. تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل (سنتعرض بالتفصيل لمواصفات الأجهزة الهندسية لاحقا):

أ- طبقا لطبيعة الاستخدام: توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- طبقا لنوعية البيانات المستقبلة: توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ، وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers (شكل ٥-٩).

ج- طبقا لعدد الترددات: توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمي أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- طبقا لعدد النظم: هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو عند بدء العمل به،



شكل (٥-٨) أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس



شكل (٥-٩) بعض أجهزة استقبال الجي بي أس

٥-٢-٢ فكرة عمل الجي بي أس في تحديد المواقع:

كما سبق الإشارة فأن نظرية عمل نظم الملاحة أو الجيوديسيا بالأقمار الصناعية تعتمد علي مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الراديوية منذ صدورها من وحدة البث (القمر الصناعي) وحتى وصولها لوحدة الاستقبال (المستقبل) ، ومن ثم يمكن حساب المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال من المعادلة:

$$D = c \cdot \Delta t \qquad (5\text{-}1)$$

حيث D المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، c سرعة الإشارة وتساوي سرعة الضوء = ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر/ثانية ، Δt فرق الزمن = زمن الاستقبال – زمن الإرسال لهذه الموجة الراديوية.

يمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية لكلا من القمر الصناعي (Xs, Ys, Zs) و جهاز الاستقبال (Xr, Yr, Zr) كالآتي:

$$D = \sqrt{[(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2]} \qquad (5\text{-}2)$$

حيث أن إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فأن المعادلة (٥-٢) تحتوي علي ٣ قيم مجهولة و هم إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته (Xr, Yr, Zr). مما يدل علي أنه يلزم وجود ٣ معادلات حتى يمكن حلهم معا آنيا simultaneously لحساب قيم الإحداثيات الثلاثة لجهاز الاستقبال. أي بمعنى آخر: يلزم لجهاز الاستقبال رصد ٣ أقمار صناعية في نفس اللحظة.

حيث أن سرعة الإشارة (سرعة الضوء) كبيرة جدا فأنه للوصول لدقة عالية في حساب المسافة يلزمنا دقة عالية أيضا في قياس الزمن أو حساب فرق الزمن Δt. لاحظ أن الإشارة لا تستغرق أكثر من ٠.٠٦ ثانية لتقطع مسافة ٢٠،٠٠٠ كيلومتر من القمر الصناعي إلي سطح الأرض. إن الساعة الموجودة في القمر الصناعي من النوع الذري عالي الدقة جدا في تحديد زمن الإرسال

(زمن خروج الإشارة من القمر الصناعي) لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية (وإلا فأن سعرها سيكون مرتفعا جدا بصورة تجعل سعر أجهزة الاستقبال غير متاحة لكل المستخدمين). أبتكر العلماء فكرة جديدة وذكية للتغلب علي مشكلة عدم دقة الساعة في أجهزة الاستقبال ، وهي إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل وحلها من خلال معادلة رياضية. أي أن المعادلة (٥-١) والمعادلة (٥-٢) ستتحولان إلي:

$$D = c \cdot (\Delta t + Et) \qquad (5\text{-}3)$$

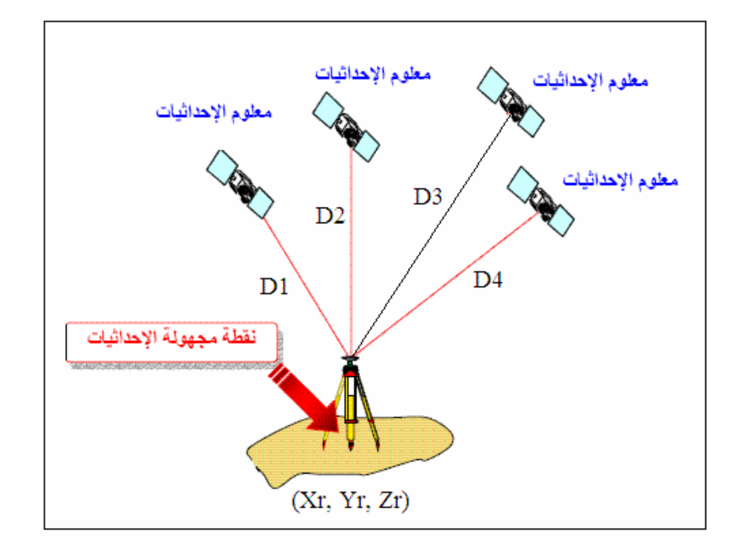
$$D + \Delta D = \sqrt{[(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2]} \qquad (5\text{-}4)$$

حيث Et هو الخطأ المطلوب حسابه لزمن الاستقبال الذي يقيسه جهاز المستقبل ، ΔD هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. وبالتالي فأن عدد القيم المجهولة Unknowns أصبح ٤ وليس ٣ (ثلاثة إحداثيات لموقع جهاز الاستقبال Xr, Yr, Zr وتصحيح المسافة الناتج عن خطأ ساعة الجهاز ΔD) مما يلزم وجود ٤ معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة المجهولة (شكل ٥-١٠):

$$\begin{aligned}
D_1 + \Delta D_1 &= \sqrt{[(Xs_1-Xr)^2 + (Ys_1-Yr)^2 + (Zs_1-Zr)^2]} \\
D_2 + \Delta D_2 &= \sqrt{[(Xs_2-Xr)^2 + (Ys_2-Yr)^2 + (Zs_2-Zr)^2]} \qquad (5\text{-}5) \\
D_3 + \Delta D_3 &= \sqrt{[(Xs_3-Xr)^2 + (Ys_3-Yr)^2 + (Zs_3-Zr)^2]} \\
D_4 + \Delta D_4 &= \sqrt{[(Xs_4-Xr)^2 + (Ys_4-Yr)^2 + (Zs_4-Zr)^2]}
\end{aligned}$$

حيث D_1, D_2, D_3, D_4 المسافات المقاسة بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xs_1, Ys_1, Zs_1) و(Xs_2, Ys_2, Zs_2) و (Xs_3, Ys_3, Zs_3) و (Xs_4, Ys_4, Zs_4) تمثل إحداثيات الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xr, Yr, Zr) تمثل إحداثيات جهاز الاستقبال ، Er يمثل خطأ زمن جهاز الاستقبال.

إذن: المطلوب لحل مجموعة المعادلات هذه هو أن يقوم جهاز الاستقبال برصد ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة. وهذا هو ***الشرط الأساسي*** لحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد باستخدام الجي بي أس (نكتفي برصد ٣ أقمار صناعية فقط لحساب الإحداثيات ثنائية الأبعاد أي بإهمال حساب ارتفاع الموقع). فإذا توفر لدينا عدد من المعادلات أكبر من ٤ (أي تم رصد أكثر من ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة) فستؤدي هذه الأرصاد الزائدة Redundant Measurement إلي زيادة دقة و جودة حل المعادلات ومن ثم زيادة دقة الإحداثيات المستنبطة.



شكل (٥-١٠) مبدأ الرصد في نظام الجي بي أس

٥-٢-٣ إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس:

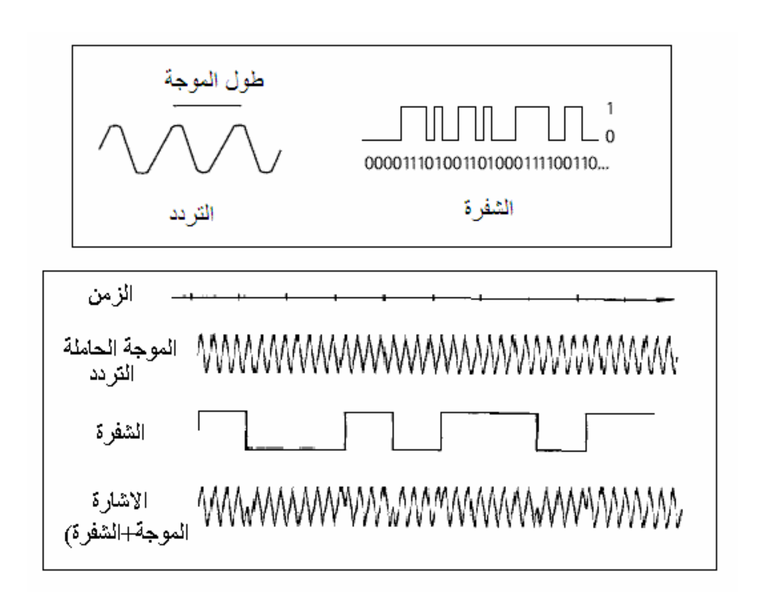
يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس بإرسال إشارتين راديوتين علي ترددين carrier frequencies ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية digital codes بالإضافة لرسالة ملاحية navigation message. يبلغ تردد الإشارة الأولي – تسمي L1 – ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز بينما يبلغ تردد الإشارة الثانية – تسمي L2 – ١٢٢٧.٦٠ ميجاهرتز. كما يبلغ طول الموجة wavelength لتردد L1 ١٩ سنتيمتر بينما يبلغ ٢٤.٤ سنتيمتر لتردد L2. السبب الرئيسي وراء وجود ترددين صادرين من كل قمر صناعي هو تقدير و حساب الخطأ الذي تتعرض له الإشارات عند مرورها في طبقات الغلاف الجوي (سنتعرض للأخطاء بالتفصيل لاحقا). أما طريقة وضع modulation الشفرة علي التردد الحامل له فتختلف من قمر صناعي لآخر حتى يتم تقليل أخطاء تداخل الإشارات.

الشفرة الأولي تسمي شفرة الحصول الخشن Coarse-Acquisition Code وترمز لها بالرمز C/A وأحيانا نسميها الشفرة المدنية (لأنها المتاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها) ، بينما الشفرة الثانية تسمي الشفرة الدقيقة Precise Code ويرمز لها بالرمز P والبعض يطلق عليها أحيانا اسم الشفرة العسكرية (لان التعامل معها وقراءتها لا يتم إلا باستخدام أجهزة استقبال خاصة غير متاحة إلا لأفراد الجيش الأمريكي). تتكون كل شفرة من سيل من الأرقام صفر و واحد ، ولذلك تعرف الشفرة بمصطلح الضجة العشوائية الزائفة Pseudo Random Noise أو PRN لان الشفرة تشبه الإشارة العشوائية ، لكن في الحقيقة فأن الشفرة يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وليست عشوائية (شكل ٥-١١). تحمل شفرة C/A علي التردد الأول L1 فقط بينما تحمل الشفرة P علي كلا الترددين L1, L2. تجدر الإشارة – دون الدخول في تفاصيل فنية معقدة – أن الشفرة P أدق كثيرا من الشفرة C/A ولذلك فقد تم منع إمكانية قراءتها من قبل المستخدمين المدنيين منذ فبراير ١٩٩٤ وقصرها فقط علي التطبيقات العسكرية للولايات المتحدة الأمريكية و حلفاؤها (عن طريق إضافة قيم مجهولة لها تسمي W-code بحيث تتغير الشفرة من P إلي ما يسمي الشفرة Y-code).

وبذلك يمكن القول أن نظام الجي بي أس يقدم نوعين من الخدمات:

- خدمة التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service أو اختصارا SPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة المدنية C/A ، ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة المدنية.
- خدمة التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service أو اختصارا PPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة الدقيقة P ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة العسكرية.

تتكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي من مجموعة من البيانات ، وهي تضاف علي كلا الترددين L1, L2. تحتوي بيانات الرسالة الملاحية علي إحداثيات القمر الصناعي ، معلومات عن حالة و كفاءة القمر (صحة القمر satellite health) وأيضا الأقمار الأخرى ، تصحيح خطأ ساعة القمر ، الإحداثيات المتوقعة أو المحسوبة للقمر الصناعي (ولباقي الأقمار) في الفترة المستقبلة وتسمي almanac ، بالإضافة لبيانات عن الغلاف الجوي.



شكل (٥-١١) التردد و الشفرة في إشارات الأقمار الصناعية

٥-٣ نظم ملاحية أخرى لتحديد المواقع:

لا يعد الجي بي أس هو النظام الملاحي الوحيد المتوافر حاليا لتحديد المواقع باستخدام الأقمار الصناعية ، فتوجد عدة نظم شبيهه سواء نظم عالمية (تغطي خدماتها كل الأرض) أو نظم إقليمية (تغطي خدماتها مناطق معينة). وسنلقي الضوء – في الجزء القادم – علي بعض هذه النظم.

النظام الروسي جلوناس:

تتشابه بدايات النظام الروسي للملاحة بالأقمار الصناعية (أسمه باللغة الروسية هو: GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema وبالانجليزية: GLObal Navigation Satellite System) المعروف اختصارا باسم جلوناس

GLONASS مع بدايات الجي بي أس من حيث أنه نظام عسكري بدأ التفكير بتطويره في عام ١٩٧٦ أثناء فترة الحرب الباردة بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي السابق (روسيا الآن) ، كما أنه مثل الجي بي أس فيدار بواسطة وزارة الدفاع. في ١٢ أكتوبر ١٩٨٢ تم إطلاق أول قمر صناعي في نظام جلوناس وأعلن النظام يعمل مبدئيا في ٢٤ سبتمبر ١٩٩٣.

يتكون نظام جلوناس – رسميا – من ٢١ قمرا صناعيا موزعة في ٣ مدارات حول سطح الأرض ، وتدور علي ارتفاع ١٩١٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وزاوية ميل ٦٤.٨° بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١١ ساعة و ١٥ دقيقة. يرسل كل قمر صناعي نوعين من الخدمات: الإشارة الدقيقة Precision Signal أو اختصارا SP ، الإشارة عالية الدقة High-Precision Signal أو اختصارا HP علي ترددات تتراوح بين ١٦٠٢.٥٦٢٥ و ١٦١٥.٥ ميجاهرتز(في النطاق المعروف باسم تردد L1). تبلغ الدقة المدنية جراء استخدام إشارات نظام جلوناس حوالي ٥٥ متر أفقيا و ٧٠ متر رأسيا عند رصد ٤ أقمار صناعية ، لكن دقة الإشارة عالية الدقة HP تكون أدق بكثير من هذه المستويات. من المتوقع أن تصل دقة نظام جلوناس لتحديد المواقع إلي حدود نفس الدقة التي يوفرها الجي بي أس بحلول عام ٢٠١١. تقع محطة التحكم الرئيسية في موسكو بينما توجد ٤ محطات مراقبة أخري داخل الأراضي الروسية.

<u>النظام الأوروبى جاليليو:</u>

في عام ١٩٩٩ تم اقتراح إقامة نظام جاليليو كمشروع مشترك بين الاتحاد الأوروبي EU و وكالة الفضاء الأوروبية ESA كبديل مدني تديره جهة مدنية بعكس وزارتي الدفاع اللتين تديران كلا من الجي بي أس و جلوناس. كما أن مشروع نظام ملاحي فضائي بهذا الحجم سيتيح قدرات هائلة للصناعة في الدول الأوروبية التي تشترك في تنفيذه ، حيث من المتوقع أن يتيح المشروع وظائف لحوالي ١٠٠ ألف شخص في أوروبا ، وسيكون العائد الاقتصادي للنظام ضخما حيث سيبلغ عدد مستخدميه ٣.٦ مليون مستخدم حتى عام ٢٠٢٠. كما تم السماح لعدة دول غير أوروبية (مثل الصين و كوريا الجنوبية و إسرائيل و المغرب و السعودية) بالمشاركة في تطوير جاليليو عن طريق المساعدات المادية أو الصناعية أو البحثية. اكتملت الدراسات التقنية المبدئية لهذا المشروع العملاق ، وبدأت مرحلة التطوير في عام ٢٠٠١ ، ومن المتوقع اكتمال النظام في عام ٢٠١٢.

سيتكون نظام جاليليو من ٣٠ قمر صناعي (٢٧ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية) موزعين في ثلاثة مدارات تميل بزاوية ٥٦° و علي ارتفاع ٢٣٦١٦ كيلومتر من سطح الأرض ، بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١٤ ساعة و ٧ دقائق. وسيكون هناك مركزين أرضيين للمراقبة و التحكم في الأقمار الصناعية. ستقوم الأقمار الصناعية في نظام جاليليو ببث ١٠ إشارات: ٦ مخصصة للخدمة العامة و خدمة البحث و الانقاذ ، ٢ للخدمة التجارية ، ٢ لخدمة المرافق العامة. وستكون الإشارات في نطاقين من الترددات: ١١٦٤-١٢١٥ ميجاهرتز ، ١٥٥٩-١٥٩١ ميجاهرتز.

تم إطلاق أول قمر صناعي في منظومة جاليليو (GIOVE-A) في ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٥ وكان إطلاق القمر التجريبي الثاني (GIOVE-B) في عام ٢٠٠٨ لوضع اللمسات النهائية علي النظام و مواصفاته و التأكد من تشغيله بجودة عالية.

النظام الصيني بيدو:

بدأ نظام بيدو (أو البوصلة) كنظام ملاحي يهدف لتغطية الصين فقط ، إلا أنه تطور لاحقا بهدف تحقيق تغطية إقليمية ثم الوصول بعد ذلك إلي التغطية العالمية. من المتوقع أن يتكون النظام من ٥ أقمار صناعية ثابتة المدار Geostationary Erath Orbit Satellites أو اختصارا GEO بالإضافة إلي ٣٠ قمرا صناعيا متوسطة المدار Medium Earth Orbiting Satellites أو اختصارا MEO موزعين في ٦ مدارات علي ارتفاع ٢١٥٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وبزاوية ميل ٥٥° ، وينتظر اكتمال هذا النظام بحلول عام ٢٠١٥. ترسل الأقمار الصناعية إشارتها في عدد من الترددات: ١١٩٥.١٤ ، ١٢١٩.١٤ ، ١٢٥٦.٥٢-١٢٨٠.٥٢، ١٥٥٩.٠٥-١٥٦٣.١٥ ، ١٥٨٧.٦٩-١٥٩١.٧٩ ميجاهرتز. تم إطلاق القمر الصناعي الثاني في هذا النظام الصيني في ١٤ أبريل ٢٠٠٩ ، والذي قامت الأكاديمية الصينية للفضاء و التكنولوجيا بتصنيعه. يتكون قطاع التحكم والسيطرة من ٣ محطات: محطة تحكم رئيسية ، محطة متابعة ، و محطة إرسال بيانات للأقمار الصناعية. من المتوقع أن يوفر نظام البوصلة خدماته بأسلوبين: الخدمة المفتوحة Open Service لكل المستخدمين والتي ستوفر دقة تحديد المواقع في حدود ١٠ متر ، الخدمة الخاصة Authorized Service للمستخدمين الخاصين.

نظم ملاحية إقليمية:

بالإضافة للنظم الملاحية الأربعة (الجي بي أس و جلوناس و جاليليو و بيدو) التي لها تغطية عالمية فتوجد عدة نظم ملاحية أخري تهدف لزيادة كفاءة الملاحة بالأقمار الصناعية في مناطق محددة من الأرض. قامت اليابان بتطوير نظام QZSS (مكون من ٣ أقمار صناعية) ليغطي حدودها الإقليمية. أيضا تقوم الهند بتطوير نظام ملاحي إقليمي – يسمي IRNSS – ليتم الانتهاء منه فيما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١١ ليزيد كفاءة الملاحة في حدودها الجغرافية الإقليمية.

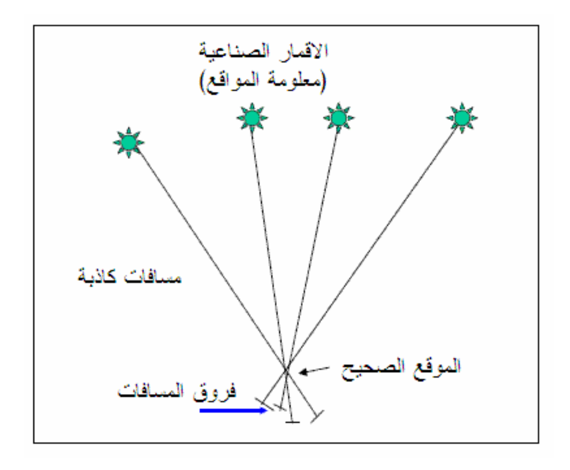
٥-٤ أرصاد الجي بي أس

إن دراسة الأرصاد (أساليب القياس) التي يوفرها نظام الجي بي أس من الأهمية لمستخدم هذه التقنية حتى يلم بطرقها المختلفة ودقة تحديد الموقع الممكن الوصول إليها في كل نوع من الأرصاد المستخدمة. يوفر نظام الجي بي أس أربعة أنواع من الأرصاد (أو طرق قياس المسافات بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية) إلا أن نوعين فقط هما الشائعي الاستخدام والمطبقين في أجهزة الاستقبال ، وهما المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة (البعض يسميها أشباه المسافات) و فرق طور الإشارة الحاملة. تختلف دقة تحديد المواقع بدرجة كبيرة جدا باختلاف نوع الأرصاد ، فالأجهزة الملاحية تطبق طريقة المسافة الكاذبة ودقتها في حساب الإحداثيات بحدود عدة أمتار بينما تطبق الأجهزة الجيوديسية أسلوب فرق طور الإشارة الحاملة لتصل إلي مستوي عدة سنتيمترات في دقة تحديد المواقع. وسنتعرض لكلا نوعي الأرصاد في الأجزاء التالية.

٥-٤-١ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

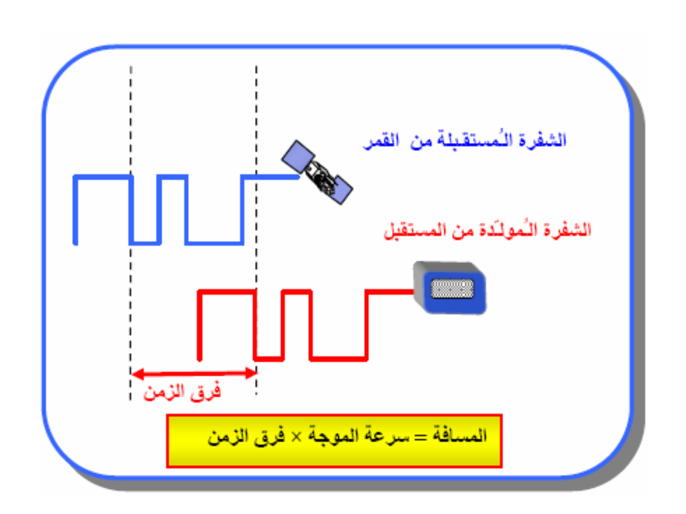
يعتمد هذا الأسلوب أو هذا النوع من أرصاد الجي بي أس علي الفكرة البسيطة التي تعرضنا إليها سابقا وهي أن المسافة بين جهاز الاستقبال و القمر الصناعي تساوي سرعة الإشارة مضروبة في الزمن المستغرق. لكن بسبب وجود عدة مصادر للأخطاء فأن هذه المسافة

المحسوبة لن تساوي المسافة الحقيقية بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، ولذلك تسمي المسافة الكاذبة Pseudorange (شكل ٥-١٢).



شكل (٥-١٢) مبدأ المسافات الكاذبة

لقياس المسافة الكاذبة يقوم جهاز الاستقبال بتطوير شفرة داخله (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية الدقيقة P طبق لنوع جهاز الاستقبال ذاته) مماثلة للشفرة التي يستقبلها من القمر الصناعي. بمقارنة كلا الشفرتين يمكن حساب فرق الزمن الذي استغرقته الإشارة منذ صدورها من القمر الصناعي وحتى وصولها لجهاز الاستقبال ، ومن ثم يمكن حساب قيمة المسافة الكاذبة (شكل ٥-١٣).



شكل (٥-١٣) طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

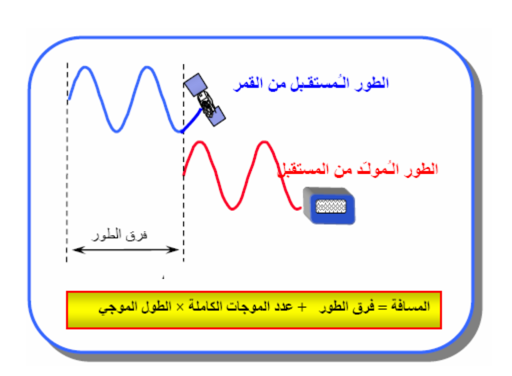
من أهم مميزات ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه لا يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فاستخدام الشفرة لا يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال لن يكون غاليا. ومن هنا فأن جميع أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held تطبق أسلوب المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة في تحديد المواقع.

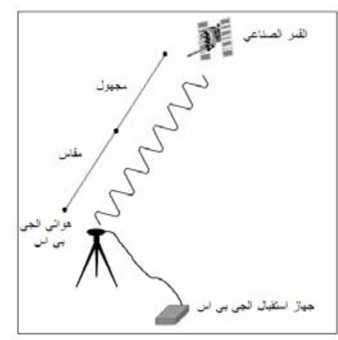
علي الجاني الآخر فأن أهم عيوب هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب لن تكون عالية الدقة. يمكن تقدير دقة أرصاد المسافة الكاذبة بقيم تتراوح بين ±٦ متر (عند انحراف معياري 1σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٦٨.٣%) و ±١٩ متر (عند انحراف معياري 3σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٩٩.٧%) للإحداثيات الأفقية ، بينما ستكون الدقة أكبر من هذه الحدود في الاحداثي الرأسي (من ±١١ إلي ±٤٢ متر). وبالطبع فقد تكون هذا الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال الاستكشافية و الجغرافية والخرائط ذات مقياس الرسم الصغير و بعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ، إلا أنها دقة غير مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

تجدر الإشارة إلي أن هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يسمي أيضا التحديد المطلق للنقطة Absolute Point Positioning حيث أنه يعتمد علي استخدام جهاز استقبال واحد فقط لتحديد موقع أو إحداثيات النقطة المرصودة في نفس لحظة رصدها.

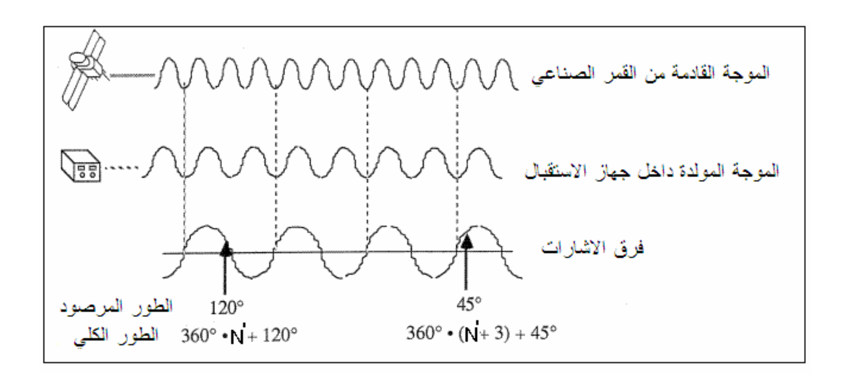
٥-٤-٢ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة

يقوم جهاز الاستقبال (الجيوديسي النوع) بتطوير موجة داخلية ثابتة تشبه الموجة التي يبثها القمر الصناعي ، ثم يقوم بمقارنة طور phase كلا الموجتين عن طريق قياس فرق الطور carrier phase or carrier beat phase والذي يكون دالة في المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال في لحظة الرصد. لكن هذا الفرق في الطور يتكون من جزأين: (١) العدد الصحيح integer للموجات الكاملة ، (٢) أجزاء الموجات عند كلا من جهاز الاستقبال و القمر الصناعي. وهنا تأتي أهم المشاكل التي تواجه نوع هذه الأرصاد: جهاز الاستقبال يستطيع وبكل دقة قياس أجزاء الموجات لكنه لا يستطيع تحديد عدد الموجات الكاملة. ومن ثم فأن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمي الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض Ambiguity (N') يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع (شكل ٥-١٤ وشكل ٥-١٥).





شكل (٥-١٤) أرصاد فرق طور الموجة الحاملة



شكل (٥-١٥) كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة

من عيوب ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فتوليد موجة داخل أجهزة الاستقبال يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال سيكون غاليا مقارنة بأجهزة قياس المسافات الكاذبة. ومن هنا فأن أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held لا تطبق هذا الأسلوب ، إنما هو فقط مطبق في تحديد المواقع باستخدام الأجهزة الجيوديسية.

علي الجاني الآخر فأن أهم مميزات أرصاد الجي بي أس باستخدام فرق طور الإشارة الحاملة يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب تكون عالية. فالقاعدة العامة أن أقل مسافة يمكن قياسها بهذا النوع من الأرصاد = (٣٦٠/٢) من طول الموجة ، فمثلا طول موجة التردد الأول L1 = ١٩ سنتيمتر ، مما يسمح لنا بقياس مسافات تصل إلي ١ ملليمتر. وبالطبع فأن هذا المستوي العالي من الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

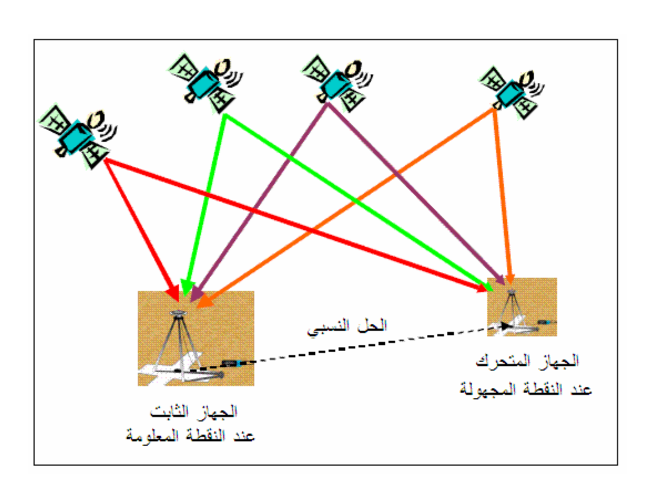
٥-٥ طرق الرصد

لتحديد إحداثيات موقع أو نقطة معينة يكفي استخدام جهاز استقبال واحد يقوم باستقبال الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية ، وهذا ما يطلق عليه التحديد المطلق للمواقع Absolute Point Positioning. لكن دقة هذه الإحداثيات ستكون في حدود عدة أمتار مما يجعل هذا الأسلوب مناسبا للتطبيقات الملاحية وبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير ، لكنه بالطبع لن يكون مناسبا للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي أس بطريقة كبيرة بناءا علي عدة عوامل مثل عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة أو طبيعة المشروع. يجب علي مستخدم الجي بي أس أن يلم بمميزات و عيوب كل طريقة قبل أن يقرر الطريقة التي يتبعها في مشروع معين.

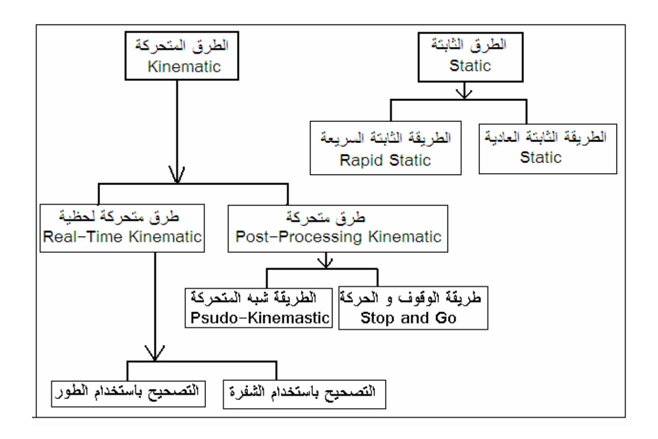
تعتمد الطرق المساحية لتجميع أرصاد الجي بي أس علي أسلوب الرصد النسبي أو الرصد التفاضلي Relative or Differential حيث يكون هناك جهازي استقبال (شكل ٥-١٦) أحدهما يسمي القاعدة Base Receiver أو الجهاز المرجعي Reference Receiver موجودا علي نقطة مساحية معلومة الإحداثيات ، بينما الجهاز الثاني يسمي المتحرك Rover Receiver وهو الذي يتولي رصد النقاط المطلوب تحديد موقعها ، ويقوم كلا الجهازين برصد الأقمار الصناعية آنيا simultaneously في نفسي الوقت. يقوم الجهاز الثابت أو القاعدة بتحديد قيمة الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية في كل لحظة وذلك عن طريق مقارنة

الإحداثيات المعلومة لهذه النقطة مع إحداثياتها المحسوبة من أرصاد الجي بي أس. بافتراض أن المسافة بين جهاز القاعدة و الجهاز المتحرك ليست كبيرة فيمكن اعتماد مبدأ أن تأثير أخطاء الرصد عند النقطة المتحركة تساوي تقريبا نفس التأثير عند النقطة القاعدة ، ومن ثم يمكن أيضا تصحيح إحداثيات النقاط التي يرصدها الجهاز الآخر أو الجهاز المتحرك ، عن طريق نقل هذه التصحيحات من الجهاز الثابت إلي الجهاز المتحرك. قد تتم عملية نقل التصحيحات في المكتب بعد انتهاء تجميع البيانات الحقلية (نسميها المعالجة اللاحقة Post-Processing) أو تتم لحظيا في الموقع (نسميها التصحيح اللحظي Real-Time). وتجدر الإشارة إلي أن الحل الناتج من هذه الطرق يكون حلا نسبيا - أي فرق الإحداثيات - بين النقطة المعلومة و النقطة المجهولة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) والذي سيضاف إلي إحداثيات النقطة المعلومة ليمكننا حساب إحداثيات النقطة المجهولة.



شكل (٥-١٦) مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس

بصفة عامة يمكن تقسيم طرق الرصد إلي مجموعتين رئيسيتين (شكل ٥-١٧): الطرق الثابتة Static – ومنها الطريقة التقليدية و الطريقة السريعة – والطرق المتحركة Kinematic ومنها طرق تعتمد علي الحساب اللاحق و أخري تعتمد علي استقبال تصحيحات بهدف إكمال عملية حساب الإحداثيات في الموقع مباشرة. وتجدر الإشارة إلي أن الطريقة الثابتة التقليدية هي الأنسب لمشروعات المساحة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية) بينما باقي الطرق تكون مناسبة لأعمال المساحية والرفع المساحي.



شكل (٥-١٧) طرق رصد الجي بي أس

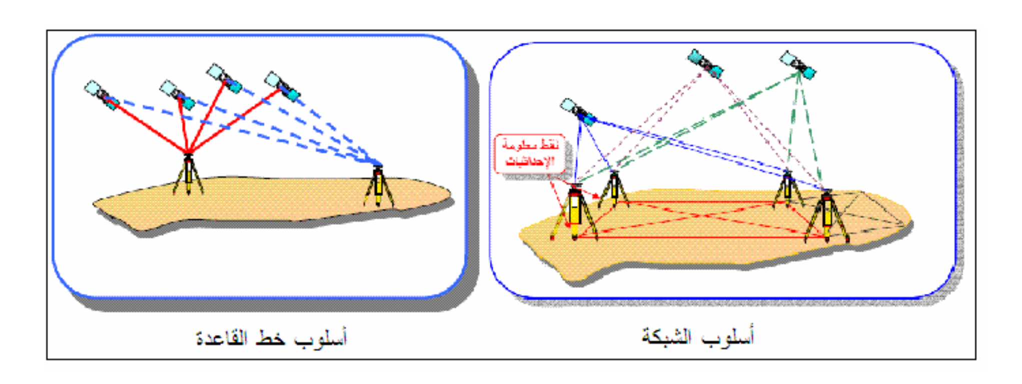
طرق الرصد الثابتة Static:

تعد طرق الرصد الثابتة أنسب طرق رصد الجي بي أس للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (تصل إلي مستوي الملليمتر) في تحديد المواقع. الطريقة الثابتة التقليدية هي أقدم – و أدق أيضا - طرق رصد الجي بي أس بينما ظهرت بعدها طريقة أخري (أو تعديل لها) سميت بالرصد الثابت السريع.

طريقة الرصد الثابت التقليدي Static:

في هذه الطريقة يحتل الجهاز الثابت نقطة معلومة الإحداثيات بينما يقوم الجهاز الآخر (أو عدد من الأجهزة) باحتلال النقطة (أو النقاط) المجهولة المطلوب تحديد مواقعها ، وفي نفس الوقت تبدأ كل الأجهزة في استقبال إشارات الأقمار الصناعية. الأجهزة الجيوديسية ثنائية التردد Dual-Frequency Geodetic Receivers هي الأجهزة المستخدمة في هذه الطريقة حتى يمكن الوصول لمستوي الدقة المطلوبة ، وان كان يمكن استخدام الأجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers للمسافات الصغيرة التي لا تتجاوز ٢٠ كيلومتر. تتراوح فترة الرصد المشترك session التي تعمل خلالها أجهزة الاستقبال بين ٣٠ دقيقة و عدة ساعات طبقا لطول المسافات بين الجهاز الثابت و الأجهزة الأخرى (ما يطلق عليه خط القاعدة أو خطوط القواعد Base Line). تقوم أجهزة الاستقبال بتجميع الأرصاد بمعدل (Sample Rate) رصده كل ١٥-٢٠ ثانية.

توجد عدة أساليب لتجميع البيانات تعتمد علي عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة. أذا لم يتوفر إلا جهازين استقبال فقط فيتم العمل بأسلوب خط القاعدة Base Line حيث يوضع الجهاز الثابت أعلي النقطة المعلومة و الجهاز الآخر أعلي أولي النقاط المجهولة لفترة زمنية معينة ، ثم ينتقل لرصد النقطة المجهولة الثانية ثم الثالثة و هكذا. بينما في حالة توافر أكثر من جهازين فأن أسلوب العمل يتم بطريقة الشبكة Network حيث جهاز (أو أثنين أحيانا) فوق النقطة (أو النقطتين) المعلومتين بينما توضع باقي الأجهزة علي النقاط المجهولة (شكل ٥-١٨).



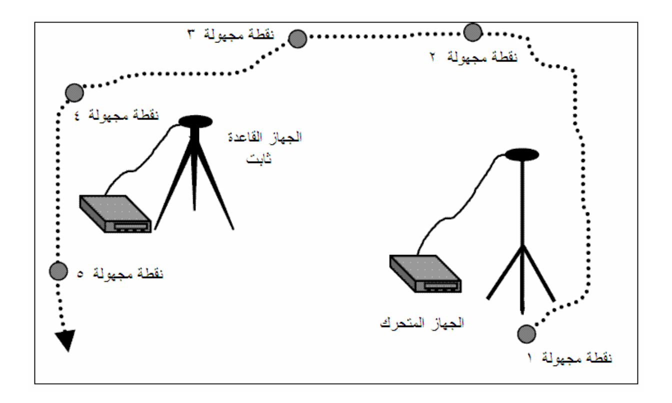
شكل (٥-١٨) أساليب الرصد الثابت التقليدي

بعد انتهاء تجميع الأرصاد الحقلية يتم نقل البيانات (من جميع الأجهزة) إلي الحاسب الآلي حيث تتولي برامج متخصصة GPS Data Processing Software تنفيذ عمليات الحساب و الضبط للوصول إلي قيم دقيقة لإحداثيات النقاط المجهولة. الدقة المتوقعة لطريقة الرصد الثابت التقليدية تكون ٥ ملليمتر ± ١ جزء من المليون (ppm) أي ٥ ملليمتر + ملليمتر لكل واحد كيلومتر من طول خط القاعدة. كمثال: لخط قاعدة طوله ٢٠ كيلومتر ، فأن الدقة المتوقعة = ٥

+ ٢٠ = ± ٢٥ ملليمتر. تجدر الإشارة إلي أنه بمكن الوصول لدقة أحسن من هذا المستوي العام باستخدام أجهزة جيوديسية حديثة وأيضا باستخدام مدارات أكثر دقة للأقمار الصناعية.

طريقة الرصد الثابت السريع Rapid Static:

في حالة وقوع النقاط المجهولة (المطلوب تحديد إحداثياتها) في نطاق مسافة قصيرة – في حدود ١٠-١٥ كيلومتر - من موقع النقطة المعلومة أو المرجعية فيمكن للجهاز المتحرك أن يرصد نقطة مجهولة لمدة زمنية بسيطة ، ثم ينتقل لرصد نقطة مجهولة ثانية و ثالثة و هكذا. يكون الجهاز القاعدة أو الجهاز المرجعي مستمرا في تجميع الأرصاد طوال فترات الرصد كلها لتتوفر أرصاد مشتركة مع الجهاز المتحرك عند كل نقطة مجهولة يقوم برصدها. لذلك سميت هذه الطريقة بالرصد الثابت السريع Fast or Rapid Static (شكل ٥-١٩). تتراوح فترة الرصد session عند كل نقطة مجهولة بين ٢ و ١٠ دقائق ، وبمعدل رصد sample rate كل ١٥-٢٠ ثانية مثل الطريقة الثابتة التقليدية. وأيضا يتم نقل الأرصاد من كلا الجهازين إلي الحاسب الآلي لإجراء عمليات الحسابات و استنتاج إحداثيات النقاط المجهولة التي تم رصدها.



شكل (٥-١٩) طرق الرصد الثابت السريع

تتميز طريقة الرصد الثابت السريع أنها تقلل بدرجة كبيرة من الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية ، مما يجعلها مناسبة للأعمال المساحية التفصيلية و الطبوغرافية في منطقة صغيرة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن الدقة المتوقعة لهذه الطريقة (١٠ ملليمتر ± ١ ppm) لا تصل لنفس مستوي دقة طريقة الرصد الثابت التقليدية مما يجعلها غير مطبقة في الأعمال الجيوديسية الدقيقة.

طرق الرصد المتحركة Kinematic:

تعتمد فكرة الرصد المتحرك علي وجود جهاز ثابت مرجعي Base علي النقطة المعلومة بينما يتحرك الجهاز الآخر Rover (أو الأجهزة) لرصد عدد من النقاط المجهولة. تختلف طرق الرصد المتحرك بناءا علي عاملين: أسلوب حركة الجهاز الثاني ، طريقة نقل التصحيحات من الجهاز الثابت لباقي الأجهزة.

طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقا:

في هذه النوعية من أساليب الرصد المتحرك يتم الاعتماد علي أن التصحيحات - التي يقوم بحسابها الجهاز المثبت فوق النقطة المعلومة – سيتم نقلها إلي أرصاد الأجهزة المتحركة عن طريق برنامج الحساب software في الحاسب الآلي بعد انتهاء الأعمال الحقلية. أي أن حساب إحداثيات النقاط المرصودة سيكون في المكتب أو Post-Processing وليس في الحقل(تسمي هذه الطرق PPK اختصارا لكلمات Post-Processing Kinematic).

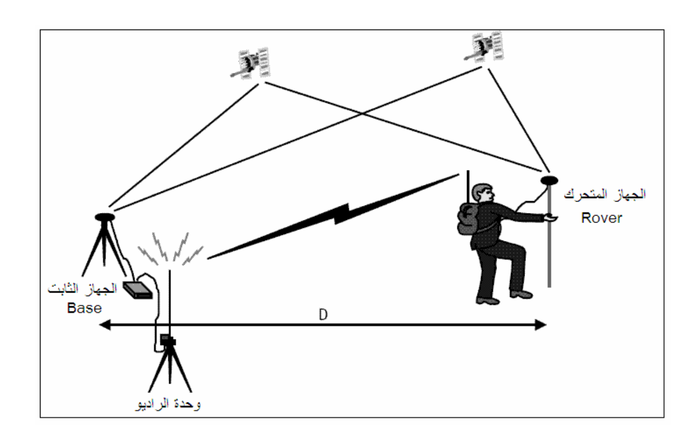
من طرق الرصد المتحرك هي ما تعرف باسم طريقة الرصد شبه المتحرك Pseudo-Kinematic والبعض يسميها طريقة الرصد المتحرك Kinematic مباشرة. وأهم مميزاتها أنها لا تتطلب الوقوف عند كل نقطة مجهولة ، إنما تكتفي برصدها حتى ولو ثانية واحدة. أيضا لا تتطلب طريقة الرصد شبه المتحرك إجراء عملية الإعداد لأنها تطبق مبدأ رياضي حديث يسمح بحساب قيمة الغموض أثناء بدء حركة الجهاز Rover من نقطة لآخري (يسمي الحل الطائر On-The-Fly أو اختصارا OFT). أيضا في هذه الطريقة يتم ضبط جهاز الاستقبال بحيث يسجل الأرصاد آليا كل فترة زمنية معينة (مثلا كل ثانية) ولا توجد حاجة للمستخدم لإعطاء أمر الرصد في جهاز الاستقبال عند كل نقطة مجهولة كما في طريقة الذهاب و التوقف. كل هذه المميزات جعلت طريقة الرصد شبه المتحرك أكثر جاذبية وأسهل و أرخص لتطبيقات الرفع المساحي.

طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي:

كانت الطرق التقليدية للرصد المتحرك تعتمد علي فكرة تجميع الأرصاد في الموقع ثم إجراء الحسابات علي الحاسب الآلي في المكتب. لكن وجد مهندسو المساحة أن هناك حالات معينة – مثل توقيع نقاط معلومة الإحداثيات علي أرض الواقع Stack Out – تحتاج حساب قيم إحداثيات النقط المرصودة في نفس لحظة الرصد. من هنا بدأ التفكير في تطوير طرق رصد متحركة جديدة. تعتمد هذه الطرق علي وجود جهاز راديو عند النقطة الثابت يقوم بإرسال أو بث التصحيحات التي يقوم الجهاز المرجعي بحسابها إلي الجهاز (أو الأجهزة) المتحرك والذي بدورها يكون متصل بجهاز راديو لاسلكي آخر (شكل ٥-٢٠). أي أن الجهاز المتحرك سيتكون من وحدتين: وحدة استقبال إشارات الأقمار الصناعية ، بالإضافة إلي وحدة استقبال لا سلكية لاستقبال التصحيحات المرسلة من الجهاز الثابت. من أرصاد الأقمار الصناعية يقوم الجهاز المتحرك بحساب إحداثيات النقطة المرصودة (لكنها إحداثيات غير دقيقة تماما) ومن تصحيحات الجهاز المرجعي يقوم الجهاز المتحرك بتصحيح الإحداثيات للوصول إلي قيم دقيقة في نفس اللحظة ، ولذلك فتسمي هذه الطرق بطرق الرصد المتحرك الآني Real-Time.

بناء علي نوع التصحيحات التي يحسبها الجهاز الثابت فتوجد طريقتين من طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي. إذا كانت التصحيحات خاصة بأرصاد الشفرة code فأن الطريقة تسمي الجي بي أس التفاضلي Differential GPS أو اختصارا DGPS. بينما إن كان الجهاز الثابت يقوم بحساب و تصحيح أرصاد طور الموجة Carrier Phase فأن الطريقة تسمي الرصد المتحرك اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. وكما سبق الإشارة فأن أرصاد طور الموجة تكون أكثر دقة من أرصاد الشفرة مما يؤدي إلي أن دقة طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS تكون عدة ديسيمترات أو ما هو أقل من المتر، بينما تصل دقة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK إلي ٢-٥ سنتيمتر. ولذلك فأن طرق

الرصد التفاضلي تستخدم في التطبيقات الملاحية و نظم المعلومات الجغرافية بينما طريقة الرصد المتحرك اللحظي هي المطبقة في الأعمال المساحية.



شكل (٥-٢٠) طريقة الرصد المتحرك اللحظي

الجدول التالي يقدم مواصفات سلاح المهندسين بالجيش الأمريكي لاستخدام طرق الرصد المختلفة و الدقة المتوقعة لكل طريقة:

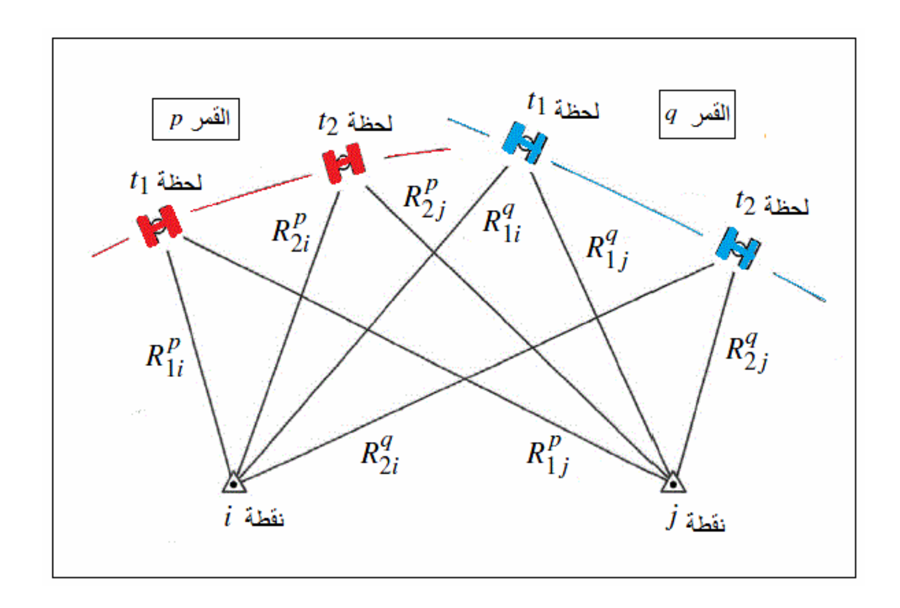
طريقة الرصد	الدقة	المتطلبات	الاستخدام
الرصد الثابت (الحساب لاحقا) Static Post-Processing	أقل من ١ سنتيمتر	أجهزة ثنائية التردد مع فترة رصد ٠.٥ – ١ ساعة	الشبكات الجيوديسية والأعمال التي تتطلب دقة عالية
الرصد الثابت السريع (الحساب لاحقا) Rapid Static Post-Processing	أقل من ١ سنتيمتر	أجهزة ثنائية التردد مع فترة رصد ٢٠ – ٥٠ دقيقة	الشبكات الجيوديسية والأعمال التي تتطلب دقة متوسطة
الوقوف و الحركة (الحساب لاحقا) Stop-and-Go Post-Processing	أكثر من سنتيمتر	أجهزة أحادية التردد مع احتلال كل نقطة ١-٢ دقيقة.	الأعمال التي تتطلب دقة متوسطة
الرصد المتحرك (الحساب لاحقا) Pseudo Kinematic Post-Processing	عدة سنتيمترات	أجهزة أحادية التردد مع أرصاد ثابتة في البداية لمدة ٥-١٠ دقائق.	الأعمال التي تتطلب دقة متوسطة
الرصد اللحظي الآني RTK	أكثر من سنتيمتر	أجهزة ثنائية التردد مع أجهزة لاسلكية. لخطوط القواعد الأقل من ١٠	الأعمال التي تتطلب إحداثيات آنية في الموقع مثل الرفع

		كيلومتر	الهيدروجرافي و الطبوغرافي وتوقيع النقاط في الموقع (دقة متوسطة إلي عالية)

٥-٦ نظرية الفروق في حسابات الجي بي أس

عند إجراء حسابات الجي بي أس يكون لدينا عدة نقاط أرضية (٢ علي الأقل لتكوين خط قاعدة) تستقبل إشارات عدة أقمار صناعية في عدة لحظات رصد. لكل نقطة مع كل قمر صناعي في كل لحظة ستوجد رصدة مقاسة، مما سينتج معه عدة قياسات أو معادلات تهدف لحساب إحداثيات النقطة المجهولة. بالطبع فأن استخدام جميع هذه القياسات معا سيكون أدق من استخدام كل رصدة منفردة، ومن هنا جاءت نظرية الفروق Differencing. في هذه الطريقة يتم تكوين "فروق أرصاد" بطرق مختلفة فمثلا يمكن عمل فرق رصدتين من نفس المحطة الأرضية إلي قمرين صناعيين في نفس اللحظة، أو عمل فرق رصدتين بين محطتين أرضيتين إلي نفس القمر الصناعي في نفس اللحظة .... الخ. من أهم مميزات هذه الطريقة في حسابات الجي بي أس أن بعض مصادر الأخطاء الموجودة في رصدتين (إذا أستخدمنا كل رصدة منفردة) ستتلاشي في حالة عمل فرق الرصدتين مما سيزيد من دقة النتائج المطلوبة. طريقة الفروق صالحة سواء كانت الأرصاد الأصلية من نوع المسافة الكاذبة أو من نوع فرق طور الإشارة الحاملة. وسيختلف نوع الحل طبقا لنوع الفرق الذي أعتمد عليه، ولذلك يجب علي مستخدم تقنية الجي بي أس أن يفهم نظرية الفروق حتى يستطيع الحكم علي نوع الحل (الذي سيعطيه برنامج الحسابات software) ويقرر أي حل أفضل و أدق من الآخر.

الشكل التالي يمثل نقطتين أرضيتين i, j وقمرين صناعيين p, q للحظتي رصد t_1, t_2



شكل (٥-٢١) طريقة فروق الأرصاد

توجد عدة أنواع أو طرق لتكوين الفروق بين الأرصاد الأصلية، لكن أهمهم يشمل:

الفرق الأحادي Single Difference:

الفرق الأحادي هو فرق (حاصل طرح) رصدتين من نقطتين أرضيتين مختلفتين إلي نفس القمر الصناعي في نفس لحظة الرصد.

$$\Delta_1 PR_p = PR_{1i}^p - PR_{1j}^p = \Delta R + c\,\Delta t_u + \Delta d_{trop} + \Delta d_{ion} \qquad (5\text{-}6)$$

حيث:

$\Delta_1 PR_p$	الفرق الأحادي (للقمر p)
PR_{1i}^p	المسافة الكاذبة من النقطة i إلي القمر p في اللحظة ١
PR_{1j}^p	المسافة الكاذبة من النقطة j إلي القمر p في اللحظة ١
ΔR	فرق المسافة بين النقطتين الأرضيتين i و j
c	سرعة الضوء
Δt_u	خطأ فرق الوقت بين جهازي الاستقبال الأرضيين
Δd_{trop}	خطأ طبقة التروبوسفير
Δd_{ion}	خطأ طبقة الأيونوسفير

بالتدقيق في المعادلة السابقة نجد أن خطأ ساعة القمر الصناعي غير موجود ، مع أنه يظهر في معادلة المسافة الكاذبة من أي نقطة إلي أي قمر صناعي في حالة استخدام كل رصدة بصورة منفردة. أي أن أهم مميزات الفرق الأحادي أنه يسقط خطأ ساعة القمر الصناعي من المعادلة المطلوب حلها لحساب إحداثيات النقطة الأرضية.

الفرق الثنائي Double Difference:

الفرق الثنائي هو فرق (حاصل طرح) معادلتين فرق أحادي بين قمرين صناعيين مختلفين في نفس لحظة الرصد.

$$\Delta_2 PR = \Delta_1 PR_p - \Delta_1 PR_q = \Delta R + \Delta d_{trop} + \Delta d_{ion} \qquad (5\text{-}7)$$

حيث:

ΔPR_2	الفرق الثنائي
PR_{1i}^p	المسافة الكاذبة من النقطة i إلي القمر p في اللحظة ١
PR_{1j}^p	المسافة الكاذبة من النقطة j إلي القمر p في اللحظة ١
ΔR	فرق المسافة بين النقطتين الأرضيتين i و j
Δd_{trop}	خطأ طبقة التروبوسفير
Δd_{ion}	خطأ طبقة الأيونوسفير

بالتدقيق في المعادلة السابقة نجد أن خطأ فرق الوقت بين ساعتي جهازي الاستقبال غير موجود ، مع أنه يظهر في معادلة الفرق الأحادي. أي أن أهم مميزات الفرق الثنائي أنه يسقط خطأ فرق توقيت ساعة القمرين الصناعيين بالإضافة لخطأ فرق توقيت ساعة جهازي الاستقبال من المعادلة المطلوب حلها لحساب إحداثيات النقطة الأرضية، ولا يتبقي بالفرق الثنائي إلا خطأ طبقتي الغلاف الجوي: التروبوسفير و الأيونوسفير. لذلك يعد الفرق الثنائي Double

Difference هو أساس حل خطوط القواعد Base Lines في معظم برامج حسابات الجي بي أس.

الفرق الثلاثي Triple Difference:

الفرق الثلاثي هو فرق (حاصل طرح) معادلتين فرق ثنائي (بين نقطتين أرضيتين و قمرين صناعيين مختلفين) في لحظتي رصد متتاليتين.

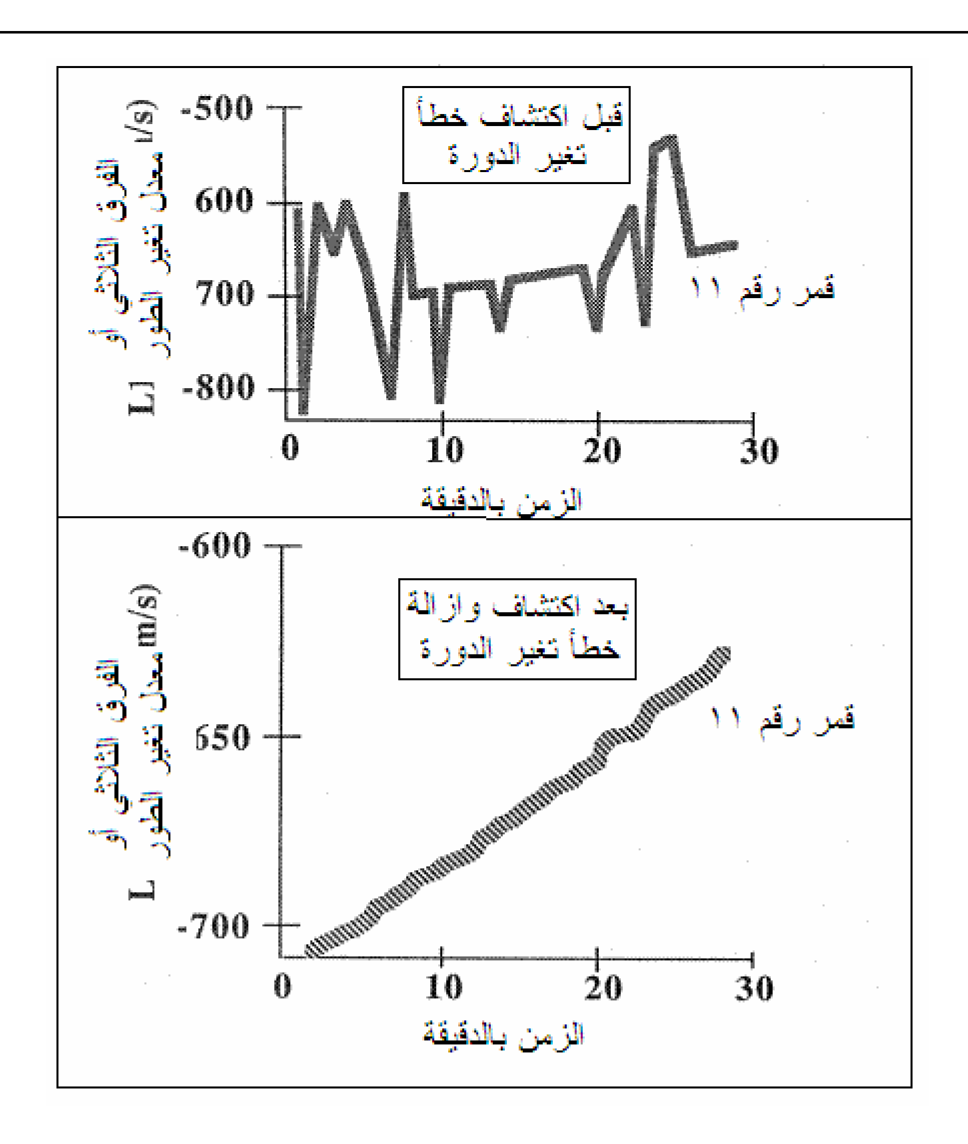
$$\Delta_3 PR = \Delta_2 PR_p^{t1} - \Delta_2 PR_q^{t2} = \Delta R + \Delta d_{trop} - \Delta d_{ion} \quad (5\text{-}8)$$

حيث:

ΔPR_3 الفرق الثلاثي

يمكن اعتبار أن فرق تأثير طبقتي الغلاف الجوي بين لحظتي الرصد المتتاليتين هو فرق صغير جدا ويمكن إهماله خاصة أن كان خط القاعدة بين النقطتين صغير (أقل من ١٠٠ كيلومتر) مما يجعل معادلة الفرق الثلاثي (في حالة أرصاد المسافة الكاذبة) خالية من أخطاء الغلاف الجوي ومنها يمكن حل – قيمة تقريبية – لطول خط القاعدة.

أما أهم مميزات معادلة الفرق الثلاثي – في حالة أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة – فتتمثل في نقطة هامة جدا: كما سبق الإشارة إلي أن قيمة خطأ الغموض Ambiguity تعتبر هامة جدا في أرصاد طور الموجة الحاملة للوصول لدقة عالية في تحديد المواقع. هذه القيمة (التي يمكن حسابها من معادلات الفرق الثنائي) تظل قيمة ثابتة طالما هناك استمرارية في وصول موجات القمر الصناعي إلي جهاز الاستقبال. فإذا انقطعت هذه الاستمرارية (بسبب وجود أي عائق قريب من جهاز الاستقبال) فأن قيمة خطأ الغموض ستتغير وهي الحالة المعروفة باسم خطأ تغير الدورة Cycle Slip. في معادلة الفرق الثلاثي سيختفي مجهول الغموض (أي لا يمكن تحديده من هذا الفرق) ، فإذا حدث خطأ تغير الدورة فسيظهر في معادلة واحدة فقط – لهذه اللحظة – ولن يظهر في معادلة اللحظة التالية بعد عودة استمرارية الاستقبال مرة أخري. ومن هنا فأن لحظة حدوث الخطأ ستظهر كقفزة مفاجئة في أرصاد الفروقات الثلاثية ، مما يسهل لنا تحديد هذه اللحظة التي حدث بها انقطاع الاستقبال – من القمر الصناعي – وبالتالي إمكانية حساب قيمة خطأ الغموض الجديدة بعد عودة الاستقبال مرة أخري.



شكل (٥-٢٢) خطأ تغير الدورة في الفرق الثلاثي

أما من حيث الدقة بين الحلول المختلفة لأرصاد الجي بي أس (خط القاعدة base line) الناتج من برنامج الحساب فيمكن ترتيبهم تنازليا كالتالي(مواصفات هيئة المساحة العسكرية الأمريكية):

١. الفرق الثنائي الخالي من الأيونوسفير Iono-Free Fixed Double Difference: أي أنه الحل الخالي من تأثير طبقتي الغلاف الجوي (في حالة استخدام أجهزة استقبال ثنائية التردد Dual-Frequency GPS Receivers) والذي أمكن به حساب قيمة N بدقة، وبالتالي فأنه أدق الحلول الممكنة خاصة لخطوط القواعد القصيرة التي تتراوح بين ١٠ و ٧٥ كيلومتر.

٢. الفرق الثنائي الخالي من الأيونوسفير Iono-Free Float Double Difference: أي أنه الحل الخالي من تأثير طبقتي الغلاف الجوي والذي لم نتمكن به من حساب قيمة N بدقة، وبالتالي فأنه ثاني أدق الحلول الممكنة للخطوط الأكبر من ٧٥ كيلومتر.

٣. الفرق الثنائي الخالي من الأيونوسفير Triple Difference: والذي لم نتمكن به من حساب قيمة N بدقة، ولم نستطع أيضا إلغاء تأثير طبقتي الغلاف الجوي بدرجة كبيرة (أي أن خط القاعدة طويل) وبالتالي فأنه ثالث أدق الحلول الممكنة.
٤. الفرق الثنائي أحادي التردد L1 Fixed Double Difference: أي أن الأجهزة المستخدمة في الرصد من نوع الأجهزة أحادية التردد (تردد L1 فقط) وأمكن في الحل حساب قيمة N بدقة. يعد هذا الحل مناسبا للخطوط القصيرة جدا الأقل من ١٠ كيلومترات، لأننا من الممكن أن نفترض أن تأثير طبقات الغلاف الجوي له نفس القيمة عند كلتا المحطتين الأرضيتين وبالتالي فلا نحتاج لأجهزة الاستقبال ثنائية التردد (وهي الأغلى سعرا من الأجهزة أحادية التردد).

وبإتباع هذه المواصفات يمكن الوصول للدقة التالية في حسابات خطوط القواعد باستخدام تقنية الجي بي أس (مواصفات هيئة المساحة العسكرية الأمريكية):

- للمسافات الأقل من ٥ كيلومتر: الدقة المسموحة تكون أقل من ١٠ ملليمتر.
- للمسافات الأقل من ٢٠ كيلومتر: الدقة المسموحة تكون أقل من ١٥ ملليمتر.
- للمسافات من ٢٠-٥٠ كيلومتر: الدقة المسموحة تكون أقل من ٣٠ ملليمتر.
- للمسافات الأكبر من ٥٠ كيلومتر: الدقة المسموحة تكون أقل من ٥٠ ملليمتر (بشرط استخدام الإشارات الدقيقة لمدارات الأقمار الصناعية Precise Ephemeredes).

٥-٧ العمل المساحي بالجي بي أس

تتعدد أساليب تنفيذ الأعمال المساحية و الجيوديسية باستخدام الجي بي أس بصورة كبيرة بتعدد طرق الرصد و أنواع الأجهزة و برامج الحسابات ، مما يصعب معه إعداد تصور كامل و دقيق لخطوات تنفيذ أي مشروع مساحي بالجي بي أس. علي الجانب الآخر فهناك خطوط عريضة يتم تطبيقها – بصورة أو بآخري – في أي عمل مساحي بالجي بي أس بهدف التأكد من جودة خطوات العمل المكتبي و الحقلي لضمان الوصول للدقة العالية المنشودة في تحديد المواقع وإنشاء الخرائط ، وهذا هو موضوع هذا الفصل.

التخطيط و التصميم:

إن تخطيط ما قبل العمل الحقلي Pre-Planning واختيار مواقع النقاط واختيار الأجهزة المستخدمة و تصميم طريقة واليات الرصد لهو من العوامل الهامة التي تؤثر لاحقا علي الدقة المستهدف الوصول إليها و أيضا تؤثر علي تكلفة المشروع بصفة عامة.

قبل البدء في مشروع الجي بي أس يجب أولا تحديد عدة عوامل تشمل:

- طبيعة المشروع و أهدافه.
- الدقة المطلوب تحقيقها أفقيا و رأسيا.
- عدد نقاط التحكم الأفقية و الرأسية المطلوب رصدها.
- المرجع الجيوديسي الذي ستنسب إليه الأرصاد.
- الأجهزة المتاحة و عددها و مواصفاتها.
- أنسب فترات الرصد الحقلي.

أهداف المشروع و الدقة المطلوبة:

تختلف عوامل التخطيط و التصميم باختلاف طبيعة المشروع ذاته (إنشاء شبكات ثوابت أرضية لمنطقة صغيرة أم لمنطقة شاسعة ، الرفع التفصيلي أو الطبوغرافي بهدف إنشاء الخرائط ، تجميع بيانات مكانية لنظم المعلومات الجغرافية .... الخ). لكل مشروع مواصفات (وخاصة في تحديد الدقة المطلوبة) تختلف باختلاف طبيعة المشروع والهدف منه. كمثال يعرض الجدول التالي مواصفات الدقة المطلوبة في مشروعات أو تطبيقات مختلفة باستخدام الجي بي أس.

مثال للدقة المطلوبة لبعض التطبيقات المساحية للجي بي أس

التطبيق	الدقة النسبية المطلوبة	الدقة المتوقعة (متر)
الاستكشاف و نظم المعلومات الجغرافية	$١×١٠^{-٤}$	من ١ إلي ٥
الخرائط الطبوغرافية صغيرة المقياس و أنظمة مراقبة المركبات	$١×١٠^{-٥}$	من ٠.٢ إلي ١
الرفع المساحي متوسط الدقة والمسح العقاري	من ٥ إلي $١×١٠^{-٦}$	من ٠.٠١ إلي ٠.٢
الجيوديسيا وشبكات الثوابت الأرضية والرفع المساحي عالي الدقة	من $٥×١٠^{-٧}$ إلي $١×١٠^{-٦}$	أقل من ٠.٠١ إلي ٠.٠٥
الجيوديسيا الديناميكية (مراقبة تحركات القشرة الأرضية مثلا) والعمل المساحي بدقة عالية جدا	$١×١٠^{-٧}$	من ٠.٠٠١ إلي ٠.٠٢

مثال للدقة المطلوبة للجي بي أس في المشروعات المدنية

نوع المشروع	مقياس رسم الخريطة	الدقة الأفقية (مم)	الدقة الرأسية (مم)
مخططات مشروعات إنشائية	١ : ٥٠٠	١٠٠	٥٠
مخططات الخدمات السطحية و تحت السطحية	١ : ٥٠٠	١٠٠	٥٠
رسومات إنشائية و تصميم مباني	١ : ٥٠٠	٢٥	٥٠
مخططات رصف الطرق	١ : ٥٠٠	٢٥	٥٠
مخططات الحفر	١ : ٥٠٠	٢٥٠	١٠٠
مخططات عامة لقرية أو حي	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
الرفع المساحي للخدمات الموجودة	١ : ١٠٠٠	١٠٠	١٠٠
نظم معلومات جغرافية للمنازل و الخدمات	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط و نظم معلومات جغرافية لتطبيقات بيئية	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط و نظم معلومات جغرافية لخدمات الطوارئ	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط مراقبة الفيضانات وجريان المياه السطحية	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	١٠٠
خرائط تصنيف التربة و الجيولوجيا	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط تصنيف الغطاء الأراضي	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
مراقبة هبوط المنشئات	مقياس كبير	١٠	٢

اختيار أجهزة الاستقبال وبرامج الحساب:

إن اختيار الأجهزة المتاحة للرصد (عددها و نوعها) أيضا من أهم العوامل المؤثرة علي جودة المنتج النهائي لمشروعات الجي بي أس. فكمثال توجد بعض أجهزة الاستقبال المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من الممكن أن توفر الدقة المطلوبة لمثل هذه النوعية من التطبيقات (٠.٥ – ٣ متر) لكنها بالطبع لن تكون مناسبة لأعمال الرفع المساحي. أما مواصفات أجهزة الجي بي أس الجيوديسية فتختلف أيضا من شركة لأخرى ويجب اختيار الجهاز الذي يوفر الحد الأدنى من المواصفات التالية:

- أجهزة جيوديسية النوع Geodetic GPS Receivers ذات دقة عالية.
- أجهزة ثنائية التردد (تستقبل كلا ترددي الجي بي أس L1, L2).
- تستقبل كلا من الشفرة و الموجة الحاملة.
- تعمل في الوضع الثابت التقليدي.
- تعمل أيضا في الوضع التفاضلي (أي تستقبل التصحيحات من مصدر خارجي).
- متعددة القنوات بحد أدني ٢٤ قناة.
- ذاكرة داخلية أو خارجية تسمح بتخزين القياسات لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- مصدر طاقة داخلي أو خارجي يسمح بتوفير الطاقة اللازمة للجهاز لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- الهوائي مقاوم لتأثير تعدد المسار Multipath بدرجة جيدة.
- دقة عالية في تحديد مركز – أو نقطة – التقاط الموجات Phase Center في الهوائي.
- هوائي حساس بدرجة عالية ، و سهل الضبط و التسامت أعلي النقطة الأرضية المرصودة.

أما الأجهزة أحادية التردد (L1) – غالبا توفر دقة سنتيمترات في تحديد المواقع - فيمكن استخدامها في أعمال الرفع المساحي و الطبوغرافي بصفة عامة ولكنها لا تفضل في التطبيقات الجيوديسية مثل إنشاء شبكة الثوابت الأرضية.

اختيار برامج حسابات الأرصاد و برامج الضبط يعد أيضا مؤثر في جودة النتائج المتوقع الحصول عليها. يشترط أن يقدم برنامج الحساب – علي الأقل - الوظائف التالية:

أ- تخطيط ما قبل الرصد.
ب- معالجة القياسات و تنقيحها.
ت- التعامل مع مختلف طرق الرصد (الثابت ، المتحرك ، .... الخ).
ث- التشغيل الآلي للبيانات Auto-processing mode مع إعطاء المستخدم إمكانية تغيير معاملات الحساب إن أراد.
ج- التعامل مع المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية Precise ephemeredes وأيضا التصحيحات الدقيقة لخطأ ساعات الأقمار الصناعية Precise satellite clocks.
ح- ضبط الأرصاد لكل فترة رصد session.
خ- ضبط الشبكة بالكامل (سواء الضبط المقيد أو غير المقيد).
د- التحليل الإحصائي للنتائج.

ذ- تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة.
ر- إسقاط الإحداثيات بمختلف نظم إسقاط الخرائط.
ز- توفير الرسوم البيانية لصحة النتائج و الضبط.
س- سهولة الاستخدام.

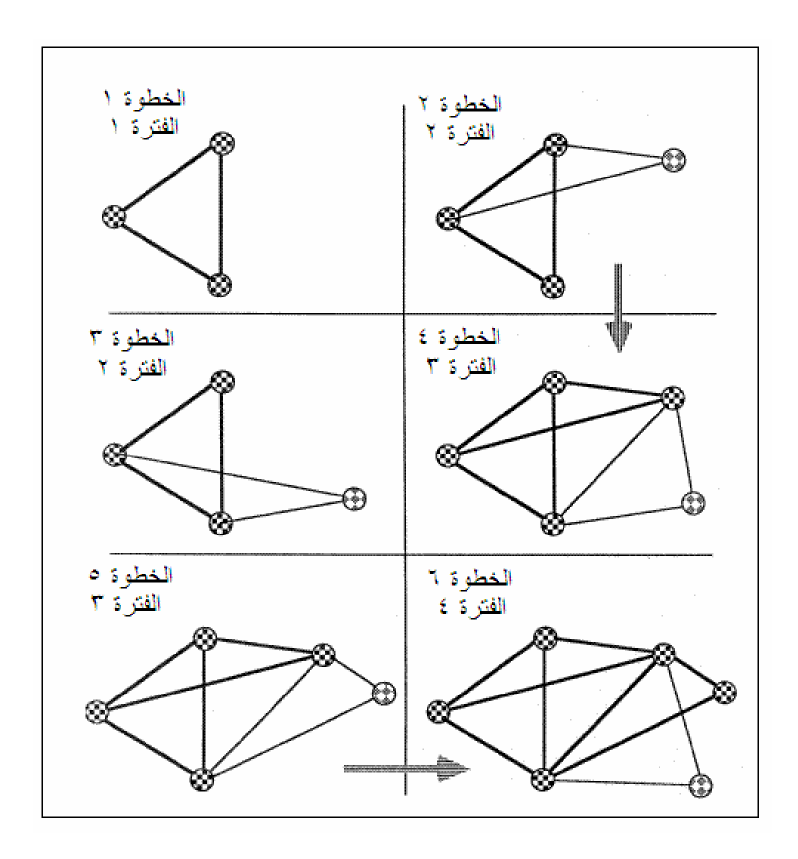
في حالة الاعتماد علي الرصد المتحرك اللحظي RTK أو الجي بي أس التفاضل DGPS فأن مواصفات وحدة الاستقبال اللاسلكي يجب أيضا أن توضع في الاعتبار. فقدرة ومدي الجهاز في بث التصحيحات تؤثر علي اختيار مواقع و أيضا عدد النقاط الثابتة التي ستستخدم في تنفيذ الرصد الحقلي. بعض أجهزة الراديو اللاسلكية توفر مدي ٣-٥ كيلومترات (أي ستتطلب إنشاء عدد أكبر من نقاط الثوابت في منطقة العمل) بينما البعض الآخر قد يصل مداه إلي ٣٠ كيلومتر.

تصميم خطة الرصد:

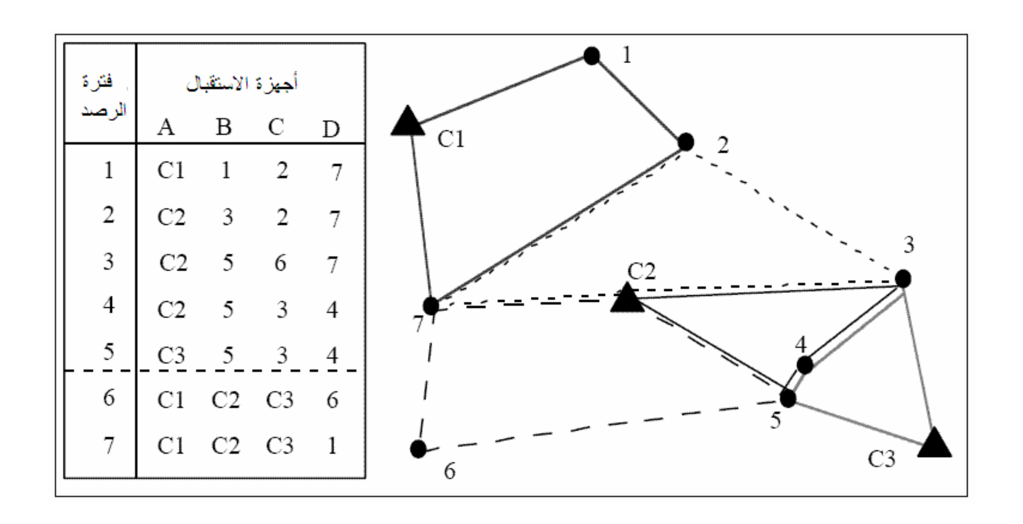
من العوامل المؤثرة علي الزمن المستغرق للعمل الحقلي وضع خطة جيدة لتنقل أجهزة الرصد بين النقاط. مع توافر أجهزة الاتصالات التليفونية المحمولة فقد أصبح تنظيم العمل الحقلي أكثر سهولة و كفاءة ، إلا أن بعض المشروعات من الممكن أن تتم في مناطق خارج حدود تغطية مثل هذه الشبكات الخلوية. وفي هذه الحالات فيجب إعداد تصور كامل وتفصيلي عن كيفية تنظيم مواعيد فترات الرصد sessions وكيفية تنظيم تنقل الأجهزة بين النقاط المختلفة.

المثال التالي (شكل ٥-٢٣) يقدم مخططا لكيفية تحريك الأجهزة المتاحة (٣ مستقبلات) لرصد شبكة مكونة من ٦ نقاط أرضية. تبدأ الخطوة الأولي – في التصميم – باستخدام المستقبلات الثلاثة لرصد النقاط ١ ، ٢ ، ٣. ثم هناك بديلين لإضافة النقطة الرابعة (الخطوة ٢ والخطوة ٣) إلا أن الخطوة ٣ هي الأفضل ، ثم في الخطوة التالية يوجد بديلين أيضا (الخطوة ٤ و الخطوة ٥) لرصد النقطة الخامسة حيث الخطوة ٥ تعد أفضل ، وفي آخر الخطوات يتم رصد النقطة السادسة. كما يقدم شكل (٥-٢٤) التالي مثالا آخر لرصد ١٠ نقاط في ٧ فترات رصد مع تحقيق بعض الأرصاد المتكررة لضمان جودة الشبكة.

كما أن عدد الأجهزة المتاحة للاستخدام سيكون عاملا مؤثرا في تكلفة المشروع ، فمع أن أجهزة الرصد الجيوديسية مازالت مرتفعة الثمن (من ١٠ إلي ٢٠ ألف دولار للجهاز الواحد طبقا لمواصفاته و مشتملاته) إلا أن بعض التطبيقات عالية الدقة يجب أن يتوافر بها علي الأقل ٣-٤ أجهزة تعمل آنيا.



شكل (٥-٢٢) مثال لتخطيط رصد شبكة جي بي أس



فترة الرصد	أجهزة الاستقبال A	B	C	D
1	C1	1	2	7
2	C2	3	2	7
3	C2	5	6	7
4	C2	5	3	4
5	C3	5	3	4
6	C1	C2	C3	6
7	C1	C2	C3	1

شكل (٥-٢٣) مثال لفترات رصد شبكة جي بي أس مع تكرار بعض رصد الخطوط

تحديد مواقع (ومعرفة إحداثيات) نقاط التحكم المتوفرة في منطقة العمل – أو بالقرب منها – من العوامل الهامة أيضا في التخطيط ما قبل العمل الحقلي. كما هو معروف أن أرصاد الجي بي أس في الوضع النسبي Relative Positioning (وهو المطبق في الأعمال المساحية وليس الملاحية) تعطي فروق الإحداثيات بين كل نقطتين مرصودتين ، و لحساب الإحداثيات المطلقة لكل نقطة فيجب ربط الشبكة بنقطة واحدة – علي الأقل – من نقاط التحكم Control Points المعلومة الإحداثيات. يتطلب التخطيط و التصميم لمشروع الجي بي أس معرفة مواقع نقاط التحكم المتوفرة وأيضا الحصول علي إحداثيات هذه النقاط التي ستستخدم لاحقا في مرحلة الحسابات و ضبط الشبكات. ومع أن أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة هو نقطة واحدة فقط إلا أنه يفضل وجود أكثر من نقطة تحكم يتم رصدهم مع الشبكة الجديدة للحصول علي ربط جيد للعمل المساحي المستهدف مع المرجع الجيوديسي ونظام الإحداثيات الوطني للدولة. في التطبيقات الجيوديسية – مثل إنشاء شبكات ثوابت أرضية – يشترط وجود أكثر من نقطة تحكم يتم استخدامهم في أثناء العمل الحقلي. أما في حالة عدم توافر أية نقاط تحكم علي الإطلاق فيوجد طرق حديثة لربط الشبكة منها: (١) حساب الوضع المطلق الدقيق Precise Point Positioning or PPP لأحدي النقاط الجديدة بالشبكة ويكون ناتجا من رصدها لفترة زمنية طويلة أو (٢) استخدام الشبكة العالمية IGS (سنتحدث عنها لاحقا).

<u>تصميم الربط علي شبكات التحكم:</u>

توافر عدد من نقاط التحكم الرأسية المعلومة المنسوب Vertical Control Points مهم أيضا عند تحويل الارتفاعات الناتجة من أرصاد الجي بي أس (ارتفاعات جيوديسية) إلي مناسيب مقاسة من متوسط سطح البحر MSL. لذلك لا بد من وجود نقطة تحكم رأسية واحدة علي الأقل يتم رصدها في احدي فترات رصد مشروع الجي بي أس الجديد. لكن في معظم التطبيقات المساحية فمن الأفضل توافر أكثر من نقطة - من هذه النوعية – في منطقة العمل لاستخدامهم لاحقا للحصول علي دقة جيدة في عملية تحويل الارتفاعات واستنباط قيم المناسيب.

يعرض الجدول التالي مثال لمجموعة أخري من المواصفات الجيوديسية فيما يتعلق بنقاط الضبط الأفقية و الرأسية المطلوبة عند إنشاء شبكة ثوابت بالجي بي أس سواء بطريقة الرصد الثابت التقليدية أو الرصد الثابت السريع ، بينما يعرض الجدول الآخر مجموعة أخري من مواصفات تخطيط و رصد شبكة من الثوابت الأرضية باستخدام الرصد الثابت.

مثال لمواصفات نقاط التحكم المطلوبة في إنشاء شبكة جي بي أس

البند	الرصد الثابت التقليدي	الرصد الثابت السريع
أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة لربط المشروع الجديد	علي الأقل ٣	علي الأقل ٣
أقصي مسافة بين نقاط التحكم و حدود المشروع	٣٠ ميل	٣٠ ميل
أقل نسبة مئوية لعدد خطوط القواعد متكررة الرصد	٥ %	٥ %
أقل عدد تكرار لاحتلال النقاط	١٠٠% مرتين ، ١٠% ثلاثة مرات	١٠٠% مرتين ، ١٠% ثلاثة مرات

مثال لمواصفات الرصد الثابت لإنشاء شبكة جي بي أس

البند	شبكة درجة أولي	شبكة درجة ثانية	شبكة درجة ثالثة
الدقة النسبية المطلوبة (جزء في المليون ppm)	١٠	٢٠-٥٠	١٠٠
الربط علي الشبكة الوطنية	نعم	نعم	اختياري
أقل عدد لنقاط الربط علي المرجع الوطني	٣	٢	٢
أنسب عدد لنقاط الربط علي المرجع الوطني	أكثر من ٣	٢	٢
مرات تكرار رصد خطوط القواعد لنسبة ١٠% من عدد الخطوط	٢	٢	٢
أقصي عدد لخطوط القواعد في الحلقة الواحدة	١٠	١٠-٢٠	٢٠
أقصي محيط للحلقة الواحدة (كم)	١٠٠	١٠٠-٢٠٠	اختياري
أقصي خطأ قفل الحلقة (جزء من المليون ppm)	١٠	٢٠-٥٠	١٠٠-٢٠٠
عدد مرات قياس ارتفاع الهوائي/الجهاز في النقطة	٢	٢	٢
أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أقل من ٢٠ كم	نعم	لا	لا
أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أكبر من ٢٠ كم	نعم	نعم	نعم
زاوية القناع Mask Angle أثناء الرصد	١٥°	١٥°	١٥°

<u>اختيار المرجع الجيوديسي المطلوب:</u>

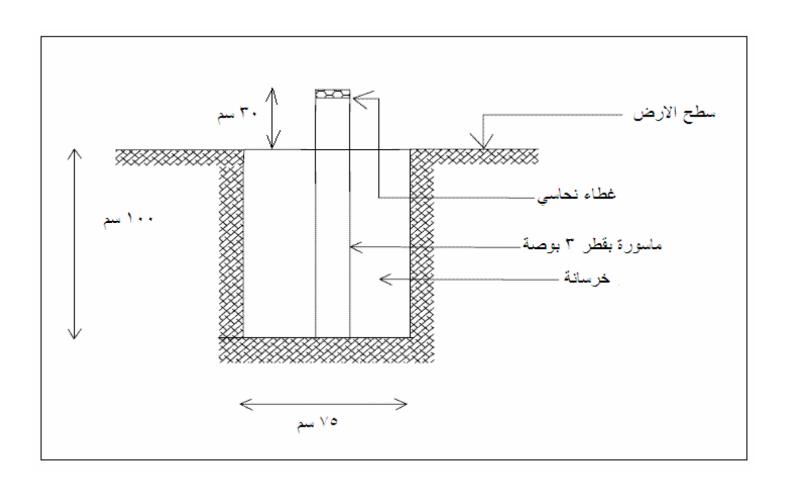
تحديد المرجع الجيوديسي Datum الذي سيعتمد عليه المشروع يعد من العوامل الهامة جدا في التخطيط ، هل المطلوب اعتماد المرجع العالمي WGS84 في حساب إحداثيات النقاط المرصودة و إنشاء الخرائط الجديدة للمشروع أم يجب تحويل الإحداثيات لمرجع جيوديسي محلي. فان كانت عملية التحويل Datum Transformation مطلوبة فيجب تحديد طريقة تنفيذها: (١) بمعرفة عناصر تحويل معلومة Transformation Parameters ، (٢) بحساب عناصر التحويل. فان كانت عناصر التحويل معلومة فيجب الحصول علي قيمها من الجهة المسئولة عن حسابها. أما في حالة عدم وجود عناصر تحويل فيجب رصد ٣ نقاط تحكم (معلومة الإحداثيات في المرجع المحلي) مع شبكة الثوابت الجديدة المزمع إقامتها للمشروع واستخدام أحد برامج الحساب لتقدير عناصر التحويل بين المراجع في منطقة العمل.

<u>اختيار مواقع النقاط وتثبيت العلامات</u>

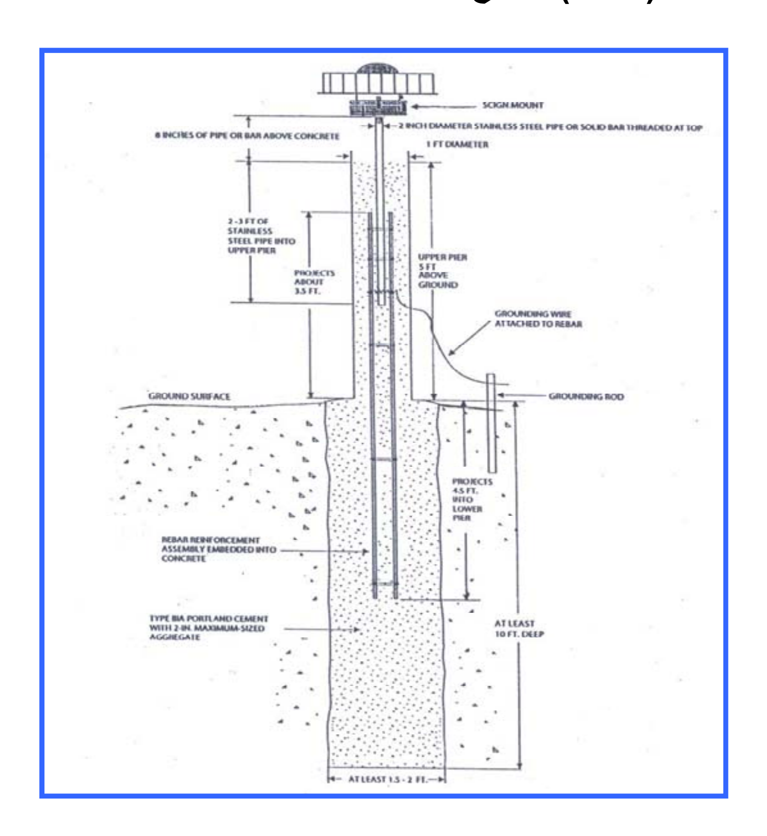
مواصفات اختيار مواقع النقاط الثابتة و طريقة بناء العلامات الأرضية يعد أيضا من عوامل التخطيط ما قبل العمل الحقلي. الشكل (٥-٢٤) يقدم نموذجا عاما لبناء نقطة ثوابت أرضية للتطبيقات المساحية بينما يقدم الشكل (٥-٢٥) نموذجا آخر للتطبيقات الجيوديسية الدقيقة، بينما

توجد مواصفات أكثر تفصيلا لإنشاء الثوابت المساحية طبقا لكل نوع من أنواع التربة في منطقة العمل. النقاط التالية تقدم خطوطا عريضة لكيفية اختيار المواقع المناسبة لإنشاء الثوابت الأرضية:

- سهولة الوصول لموقع النقطة.
- ضمان تواجد النقطة في هذا الموقع لفترة طويلة.
- أن يكون الموقع مناسبا للاستخدام المساحي.
- أن يكون البناء علي أرض صخرية صلبة و ثابتة.
- ألا توجد عوائق حول موقع النقطة في حدود ^{o}١٥ من مستوي الأفق.



شكل (٥-٢٤) نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال المساحية



شكل (٥-٢٥) نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال الجيوديسية

اختيار أنسب أوقات الرصد:

اختيار أنسب وقت للرصد في الجي بي أس يعد أيضا من خطوات التصميم و التخطيط. فمع أن أشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس متاحة ٢٤ ساعة يوميا ، ألا أن دقة و جودة وعدد الأقمار الصناعية يختلف من موقع جغرافي لآخر و من ساعة لآخري في نفس اليوم. يعد معامل دقة الموقع PDOP العامل الأساسي الذي يصف العلاقة بين توزيع الأقمار الصناعية في زمن معين و بين الدقة المتوقعة للرصد في هذا الوقت. ويمكن معرفة قيم PDOP لأي مكان و في أي وقت باستخدام البرامج المتخصصة (أي قبل تنفيذ العمل الحقلي ذاته). لذلك لا بد من استخدام أحد هذه البرامج لحساب معامل الدقة في الأيام المحددة للرصد الحقلي ، ومن ثم اختيار أنسب أوقات أو ساعات اليوم التي يكون فيها معامل PDOP أقل من ٦ ضمانا للوصول لأدق تحديد للمواقع المرصودة. أما للرصد المتحرك اللحظي فأن PDOP أقل من ٣ يعتبر جيدا ، ومن ٣ إلي ٦ يعتبر مقبولا بينما ما هو أكبر من ٦ يعتبر ضعيفا. أما قيمة زاوية القناع Mask or Cut-Off Angle فيجب ألا تقل عن °١٥ في معظم التطبيقات المساحية و الجيوديسية.

يعتمد اختيار طول فترة الرصد علي عدة عوامل أهمهم الدقة المتوقعة أو المطلوبة في المشروع المساحي ، بالإضافة لمعامل الدقة GDOP وعدد الأقمار الصناعية المتوفرة في وقت الرصد. الجدول التالي يقدم خطوطا عريضة لكيفية تحديد طول زمن أو فترة الرصد سواء في طريقة الرصد الثابت التقليدي أو الرصد الثابت السريع ، بينما يقدم الجدول الآخر مواصفات أخري عند استخدام أجهزة استقبال جي بي أس أحادية أو ثنائية التردد. أما في حالة أنشاء ثوابت أرضية و رأسية – أي أنه مطلوب تحديد الارتفاع الأرثومتري لنقاط الشبكة – فأن مواصفات طول فتره الرصد ستتغير بصورة ملحوظة للوصول إلي دقة جيدة في قياس الارتفاعات كما نري في الجدول الثالث ، وفي هذه الحالة يجب أن يتم ربط الشبكة مع ٣ نقاط تحكم رأسية BM علي الأقل مع استخدام نموذج جيويد جيد.

مثال لطول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت

طول خط القاعدة (كم)	عدد الأقمار الصناعية المتوفرة	معامل الدقة GDOP	وقت الرصد (دقيقة)
أولا: الرصد الثابت التقليدي:			
أقل من ١ كم	أكثر من ٤	أقل من ٦	١٠-٣٠
١ - ٥	أكثر من ٤	أقل من ٦	٣٠-٦٠
٥-١٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٦٠-٩٠
١٠-٢٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٩٠-١٢٠
٢٠-٥٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٢-٣ ساعات
٥٠-١٠٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	أكثر من ٣ ساعات
أكثر من ١٠٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	أكثر من ٤ ساعات
ثانيا: الرصد الثابت السريع:			
أقل من ١ كم	أكثر من ٤	أقل من ٥	أقل من ٥ دقائق
١-٥	أكثر من ٤	أقل من ٥	٥-١٠ دقائق
٥-١٠	أكثر من ٤	أقل من ٥	١٠-١٥ دقيقة
١٠-٢٠	أكثر من ٤	أقل من ٥	١٠-٣٠ دقيقة

مثال لطول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت للأجهزة أحادية و ثنائية التردد

طول خط القاعدة (كم)	عدد الأقمار الصناعية المتوفرة	وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة)	وقت الرصد للأجهزة ثنائية التردد (دقيقة)
١ – ١٠	أكثر من ٦	٢٤	٨
١٠ – ٢٠	أكثر من ٦	٣٠	١٠
٢٠ - ٥٠	أكثر من ٦	٦٠	٢٠
أكبر من ٥٠	أكثر من ٦	٩٠	٣٠
١ – ١٠	أكثر من ٤	٣٦	١٢
١٠ – ٢٠	أكثر من ٤	٤٥	١٥
٢٠ – ٥٠	أكثر من ٤	٧٥	٢٥
أكبر من ٥٠	أكثر من ٤	١٣٥	٤٥

مثال لطول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت لشبكات الثوابت الرأسية

(للوصول لدقة ± ٣٠ ملليمتر في حساب المناسيب)

طول خط القاعدة (كم)	وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة)	معامل القياس Sample rate (ثانية)
أقل من ١٠	٣٠	٥
١٠ – ٢٠	٦٠	١٠
٢٠ – ٤٠	١٢٠	١٥
٤٠ – ٦٠	١٨٠	١٥
٦٠ – ٨٠	٢٤٠	١٥
٨٠ – ١٠٠	٣٠٠	١٥
أكبر من ١٠٠	أكثر من ٣٠٠	١٥

أيضا فأن تحديد معامل الأرصاد sample rate (المعدل الزمني بين كل رصدة و الرصدة التالية) يجب أن يتم قبل بدء العمل الحقلي ويتم ضبط أجهزة الاستقبال قبل التوجه للمشروع. الجدول التالي يوضح قيم معامل الأرصاد المقترحة لكافة طرق الرصد بالجي بي أس.

مثال قيم معامل الأرصاد في طرق الرصد المختلفة

طريقة الرصد	الثابت	الثابت السريع	الذهاب و التوقف	المتحرك
معامل الأرصاد	١٠ ثانية	٥-١٠ ثانية	١-٥ ثانية	٠.٢ ثانية

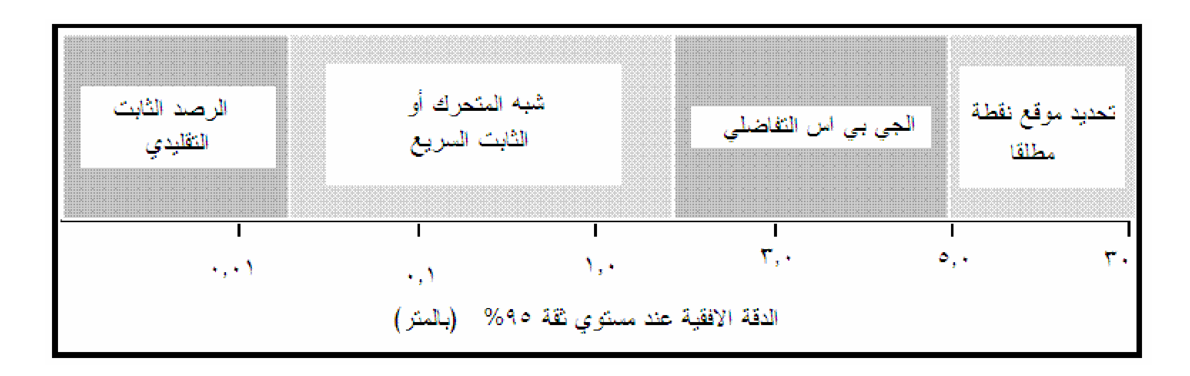
يقدم الجدول التالي نموذجا آخر لمواصفات الرصد بالجي بي أس في إنشاء شبكة ثوابت أرضية بكلتا طريقتي الرصد الثابت التقليدي و السريع.

مثال مواصفات رصد شبكة جي بي أس

البند	الرصد الثابت التقليدي	الرصد الثابت السريع
أقصى قيمة لمعامل الدقة PDOP	٥	٥
أقل زمن لفترة الرصد	٣٠ دقيقة	١٥ دقيقة
أقصى معامل أرصاد	١٥ ثانية	١٥ ثانية
أقل زاوية قناع	١٠°	١٠°

اختيار أنسب طريقة للرصد

يتم اختيار طريقة الرصد بعد وضع الخطوط العريضة لأهداف المشروع و مستوي الدقة المطلوب الوصول إليه ، حيث تتم المفاضلة بين جميع طرق الجي بي أس وخاصة من وجهة نظر تقنية و اقتصادية في نفس الوقت (شكل ٥-٢٦). فإذا كان المشروع – مثلا – بهدف استكشاف عام لمنطقة أو تطوير نظم معلومات جغرافية لأماكن الخدمات الموجودة في مدينة أو تحديث الخرائط صغيرة المقياس فيمكن الاكتفاء باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية أو المحمولة يدويا (أجهزة أرصاد الشفرة) والتي توفر دقة في حدود ± ٤-٨ متر وبمتوسط ± ٥ متر حيث تكون هذه الدقة مناسبة لمثل هذه التطبيقات و أيضا غير مكلفة ماديا. أما في حالة تطوير نظم معلومات جغرافية لمساحة صغيرة (حي مثلا) أو لأعمال المساحة الهيدروجرافية أو لمراقبة النحر في الشواطئ فأن الدقة المطلوبة ستكون في حدود ± ١ متر أو أقل مما يجعل طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS هي الأنسب وخاصة في حالة توافر مصدر لتصحيحات الأرصاد سواء من جهات توفر هذه الخدمة أو استخدام جهاز مرجعي لحساب تصحيحات الشفرة و نقلها للأجهزة المتحركة سواء لحظيا أو باستخدام التصحيح المكتبي. تعد أجهزة الرصد (النسبي وليس المطلق) المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية بديلا مناسبا لمثل هذه التطبيقات (حيث أنها أرخص سعرا من الأجهزة الجيوديسية و أسهل أيضا في التعامل معها). كما أن خدمات التصحيحات التجارية (مثل خدمة OmniStar) تعد بديلا آخر اقتصاديا في حالة عدم توافر جهات حكومية تبث التصحيحات في محيط منطقة العمل ، وكمثال فقد تم استخدام هذه الخدمة التجارية في الرفع الهيدروجرافي لنهر النيل في مصر وأثبتت أنها توفر الوقت اللازم للأعمال الحقلية بنسبة كبيرة مما جعلها تخفض من تكلفة المشروع. أما للرفع المساحي سواء التفصيلي أو الطبوغرافي فأن طرق الرصد المتحرك تعد هي الأنسب و الأوسع انتشارا ، لكن يبقي المفاضلة بين هذه الطرق لتنفيذ التصحيح و الحسابات في الموقع مباشرة RTK أم في المكتب بعد انتهاء العمل الحقلي PPK. في حالة توقيع نقاط معلومة الإحداثيات فأن طريقة RTK هي البديل الوحيد لان التوقيع اللحظي يتطلب التصحيح اللحظي لأرصاد الجي بي أس ، أما في حالة الرفع المساحي فأن طريقة PPK من الممكن أن تكون هي الأفضل حيث أنها تتيح للمستخدم التحقق من الأرصاد و استبعاد الغير دقيق منها قبل إجراء حسابات تحديد الإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة وذلك من خلال البرامج المكتبية المتخصصة بعد انتهاء العمل الميداني ، وان كان البعض يستعمل طريقة RTK في الرفع المساحي لأنها أسرع ولا تحتاج لأية أعمال مكتبية. أما لتطبيقات المساحة الجيوديسية و المساحة الأرضية عالية الدقة فلا يوجد بديل عن طرق الرصد الثابت.



شكل (٥-٢٦) مثال للدقة المتوقعة من طرق الرصد المتعددة

المتطلبات الأخرى:

أيضا تجهيز المتطلبات اللوجستية اللازمة يعد من مكونات التخطيط للمشروع لأنه يؤثر علي الوقت المستغرق لتنفيذ العمل الحقلي. يجب عمل حصر بالمتطلبات (عدد و مواصفات السيارات المناسبة لمنطقة العمل ، عدد أفراد الفريق الحقلي وخبراتهم ، مدي توافر مصدر طاقة دائم لشحن بطاريات أجهزة الرصد ، إمكانيات الاتصالات التليفونية أو اللاسلكية في منطقة العمل ، إمكانيات إقامة مخيم لأفراد الفريق الحقلي .... الخ) وإعدادها قبل بدء العمل الميداني.

الفصل السادس

الجاذبية الأرضية

يهدف فرع الجيوديسيا الطبيعية أو الفيزيقية Physical Geodesy لدراسة الخصائص الفيزيائية (وليست الهندسية) لشكل الأرض وخاصة خصائص مجال الجاذبية الأرضية وتأثيراته علي أعمال المساحة و إنشاء الخرائط.

٦-١ الجاذبية (التثاقلية) الأرضية

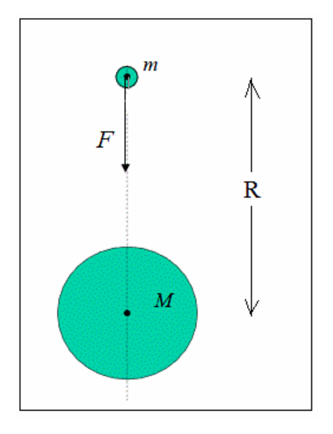
كوكب الأرض عبارة عن مجسم شبه كروي (سواء كرة أو اليبسويد) يوجد علي سطحه العديد من المعالم الطبيعية و البشرية، فلماذا لا تقع كل هذه الأشياء من علي سطح الأرض؟ السبب أن الخالق العظيم قد خلق قوة تربط بين كل ما علي سطح الأرض تجعلهم جميعا منجذبين لهذا الكوكب ولا يتناثرون منه إلي الفضاء الخارجي. هذه القوة – التي هي من أسباب الحياة علي الأرض – هي المعروفة باسم الجاذبية الأرضية أو التثاقلية الأرضية. أما عن سبب وجود هذه القوة فيرجع إلي ما أكتشفه العالم الكبير اسحق نيوتن من أن أي جسمين بينهما قوة جذب متبادل تعتمد علي كتلة كلا الجسمين و المسافة بينهما. فأنت تجذب الأرض و الأرض تجذبك أيضا، لكن بما أن كتلة جسمك لا تقارن بكتلة الأرض ذاتها فأن تأثير جذب الأرض هو الأقوى وهو المؤثر عليك. وحيث أن الأرض ما هي إلا كوكب من مكونات المجموعة الشمسية التي تضم العديد من الكواكب الأخرى و النجوم فأن هناك قوة جذب أخري بين الأرض وهذه الأجسام السماوية و خاصة الشمس و القمر.

تنص نظرية نيوتن علي أن قوة الجذب بين أي جسمين تتناسب طرديا مع كتلة كلا منهما (تزيد قوة الجذب كلما زادت أي كتلة من الاثنين) وتتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين مركزي الثقل للجسمين (تقل قوة الجذب كلما زادت المسافة). تجدر الملاحظة أن النظرية تتحدث عن كتلة الجسم وليس وزنه، حيث أن وزن أي جسم يعتمد علي قوة جذب الأرض له ويتغير الوزن من مكان لآخر بينما كتلة الجسم تكون ثابتة في أي مكان. قام نيوتن بوضع نظريته في معادلة رياضية كالتالي:

$$F = G\, M\, m / R^2 \qquad (6\text{-}1)$$

حيث:

F قوة الجذب
M كتلة الأرض
m كتلة الجسم
R المسافة بين الجسمين
G معامل ثابت يسمي ثابت الجاذبية الأرضية = ٦.٦٧ × ١٠$^{-١١}$ م^{٣}/كجم/ث^{٢}



شكل (٦-١) الجذب بين كتلتين

حيث أن كتلة أي جسم علي الأرض m ستكون صغيرة جدا بالمقارنة بكتلة الأرض ذاتها M فيمكن كتابة المعادلة السابقة بصورة أخري:

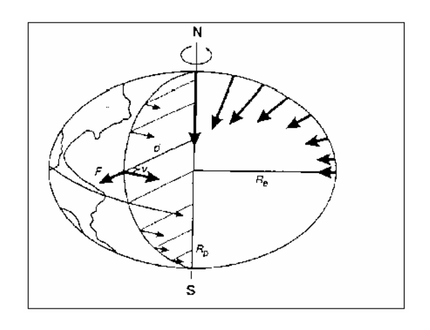
$$g = G\,M / R^2 \qquad (6\text{-}2)$$

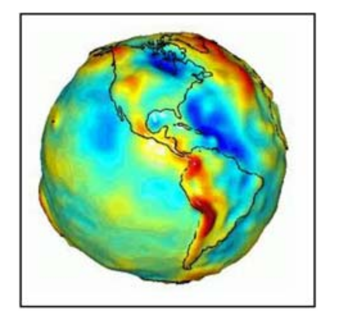
حيث:

g معدل تسارع جذب الأرض (الجاذبية أو التثاقلية الأرضية).

إن كانت الأرض كرة تامة الاستدارة (حيث نصف قطرها يساوي ٦٣٧٠ كيلومترا) و كان توزيع المواد والكثافات داخل باطن الأرض توزيعا منتظما فان قوي الجاذبية ستكون متساوية في أي جزء من سطح الأرض (g في المعادلة السابقة)، وقد قدرها نيوتن بقيمة ٩.٨٢ متر/ثانية٢ .

لكن لأن الأرض ليست كرة تامة (وإنما اليبسويد) وأيضا تختلف كثافات موادها تحت السطح فأن الجاذبية الأرضية لن تكون متساوية للأرض بأكملها، فهي تبلغ ٩.٧٨ متر/ثانية٢عند خط الاستواء و تبلغ ٩.٨٣ متر/ثانية٢عند القطبين. أي أن قيمة الجاذبية الأرضية تكون أكبر عند القطبين منها عند خط الاستواء ويرجع السبب في ذلك إلي أن سطح الأرض عند القطبين يكون أقرب لمركز الأرض بينما يكون أبعد من مركز الأرض عند خط الاستواء، أي أن الجاذبية الأرضية تزيد مع زيادة دوائر العرض. ومن هنا فيجب قياس قيم الجاذبية الأرضية عند منطقة العمل المطلوبة من سطح الأرض.





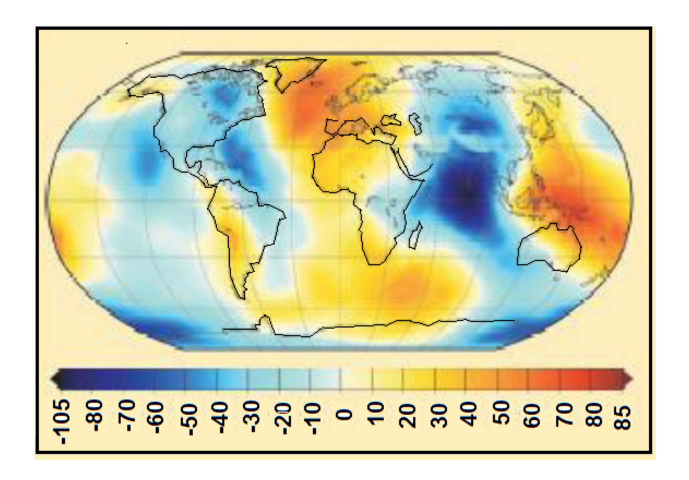
شكل (٦-٢) عدم انتظام شكل الأرض ومجال جاذبيتها

٦-٢ تطبيقات الجاذبية الأرضية

تستخدم قياسات الجاذبية الأرضية في العديد من التطبيقات منها:

١. تحديد شكل الأرض.
٢. البحث عن البترول.
٣. الدراسات الجيولوجية مثل التغير في سمك القشرة الأرضية وطبقاتها الجيولوجية وتحديد كثافات المادة الصخرية للطبقات.
٤. الكشف عن الرواسب المعدنية.
٥. الكشف عن الفجوات تحت السطحية.
٦. تحديد مواقع الوديان الصخرية المدفونة.
٧. تحديد سمك الطبقات الجليدية.
٨. مراقبة تذبذبات المد و الجزر.
٩. الكشف عن الآثار القديمة المدفونة.
١٠. الاستخدامات العسكرية مثل مسارات الصواريخ.
١١. مراقبة النشاطات البركانية.

ترجع أهمية قياسات الجاذبية الأرضية في تطبيقات المساحة إلي أن العمل المساحي الحقلي الذي يتم علي سطح الأرض يكون تحت تأثير هذه القوة. فعندما نضبط أفقية أي جهاز مساحي (ميزان أو ثيودليت أو محطة شاملة) فأن الجهاز يصبح عمودي علي اتجاه قوة الجاذبية الأرضية، وهكذا في النقطة التالية ثم النقطة التالية وهكذا. لكن اتجاه الجاذبية الأرضية عند أي نقطة ليس موازيا لاتجاهها عند النقطة التالية (لأن اتجاهات قوي الجاذبية تتجه نحو مركز الأرض) وبالتالي يكون هناك تأثيرا للجاذبية الأرضية علي كل القياسات المساحية التي تتم علي سطح الأرض. ثم أن الخرائط المساحية تعتمد علي شكل الاليبسويد في الحسابات وهو شكل مختلف عن شكل الأرض الحقيقي (الجيويد الذي لا يمكن استخدامه في الحسابات بسبب أنه متعرج ولا يمكن وصفه بمعادلات رياضية) حتى وان كان قريبا جدا منه. أي أننا نحتاج لمعرفة الفروق بين شكل الأرض الحقيقي (وهو الجيويد) وشكل الاليبسويد الذي تتم عنده الحسابات، وهذه الفروق يمكن تحديدها وقياسها من خلال قياس قيمة الجاذبية الأرضية. هذه الفروق تختلف من مكان لآخر علي سطح الأرض فتبلغ -١٠٥ متر في الهند بينما تبلغ +٧٣ متر عند غينيا الجديدة.



شكل (٦-٣) الفروق بين الجيويد و الاليبسويد

٦-٣ وحدات قياس الجاذبية الأرضية

تقاس قيم الجاذبية الأرضية بوحدة رئيسية تسمي "جال Gal" - تكريما للعالم الايطالي الكبير جاليليو الذي قام بأول تجربة لقياس عجلة الجاذبية الأرضية - حيث:

١ جال = ١/١٠٠ متر/ثانية٢

أي أن:

١ جال = ١ سنتيمتر/ثانية٢

وتتفرع منها وحدات فرعية منها:

مللي جال mGal = جزء من ألف من الجال، أي = جزء من مائة ألف متر/ثانية٢.

ميكرو جال μGal = جزء من مليون من الجال، أي = جزء من مائة مليون متر/ثانية٢. ويطلق أيضا علي الميكرو جال أسم وحدة الجاذبية gravity unit أو اختصارا g.u.

بمعني إذا قلنا أن الجاذبية الأرضية المتوسط للأرض = ٩.٨٢ متر/ثانية٢، فهي تساوي ٩٨٢ جال، أو ٩٨٢٠٠٠ مللي جال.

٦-٤ أجهزة قياس الجاذبية الأرضية

تنقسم أجهزة قياس الجاذبية الأرضية إلي مجموعتين:

(١) أجهزة قياس الجاذبية المطلقة Absolute Gravity Meters:

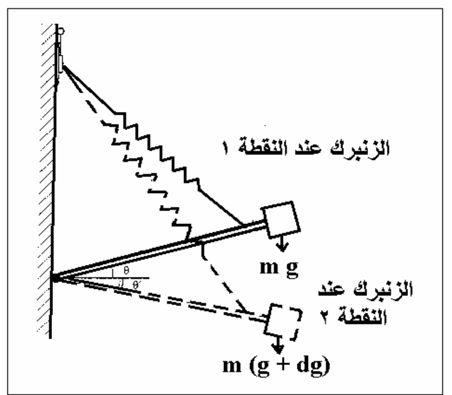
أجهزة تقيس قيمة الجاذبية المطلقة عند نقطة محددة. يعتمد تحديد الجاذبية الأرضية المطلقة علي طريقتين: طريقة الجسم الساقط وطريقة تأرجح البندول. في الطريقة الأولي يتم مراقبة ورصد حركة جسم (صغير جدا) يسقط لمسافة ١ -٢ متر في إطار معزول تماما عن أية مؤثرات، ومن خلال قياس الزمن و مسافة السقوط في هذا المسار يمكن حساب قيمة الجاذبية الأرضية في هذا الموقع. بينما الطريقة الثانية تعتمد علي تعليق مادة (صغيرة جدا) في خيط غير قابل للاستطالة وكتلته مهمله ِويكون مرن تماما، ثم تتأرجح هذه المادة في مستوي رأسي باتساع صغير جدا ومن ثم يمكن حساب قيمة الجاذبية الأرضية المطلقة في هذا الموقع من خلال قياس الفترة الدورية لاهتزاز (تأرجح) البندول.

هذه الأجهزة ذات مواصفات تقنية عالية وبالتالي فأن سعرها باهظ للغاية، كما أنها تحتاج لتدريب كبير جدا وعدد آخر من المعدات المتصلة بها أثناء إجراء القياسات والتي قد تستمر لمدة ٢٤-٤٨ ساعة للنقطة الواحدة. ولذلك فأن عدد أجهزة قياس الجاذبية المطلقة يعد عددا بسيطا في العالم و لا تمتلك هذه الأجهزة إلا الجهات العالمية المتخصصة في الجاذبية الأرضية مثل هيئة المساحة الأمريكية مثلا. تصل دقة قياس الجاذبية المطلقة إلي ٠.١ ميكرو جال أو ما يعادل ٠.٠٠٠١ مللي جال.

حديثا بدأت شركات تصنيع الأجهزة في تطوير نوع جديد من أجهزة قياس الجاذبية المطلقة يتيح دقة أقل من الأجهزة التقليدية (ومن ثم سيكون أقل سعرا) ومن الممكن استخدامه في الأماكن المفتوحة أيضا. فمثلا قامت شركة Micro LaCoaste بإنتاج جهاز قياس الجاذبية المطلقة من موديل A-10 بدقة ١٠ ميكرو جال (أنظر http://www.microglacoste.com/a10.php).

(٢) أجهزة قياس الجاذبية النسبية Relative Gravity Meters:

أجهزة تقيس فرق الجاذبية بين نقطتين (مثل الميزان الذي يقيس فرق المنسوب بين نقطتين لكنه لا يقيس منسوب النقطة ذاته). من أشهر أجهزة قياس الجاذبية الأرضية النسبية جهاز الجرافيميتر Gravimeter (الاسم مكون من دمج كلمة Gravity أي الجاذبية مع كلمة Meter أي مقياس) والتي بدأت في الظهور تقريبا في عام ١٩٥٠م. تعتمد نظرية الجرافيميتر علي سلك زنبركي متعادل (متوازن) داخل إطار معزول تماما عن أية مؤثرات خارجية. يتغير توازن هذا الزنبرك بتأثير أي قوة إضافية مهما صغرت قيمتها، فإذا كانت القوة المؤثرة عند نقطة الرصد الأولي تساوي m g (حيث m كتلة المادة و g قسمة عجلة الجاذبية عند هذه النقطة) ثم انتقل الجرافيميتر لنقطة الرصد الثانية فأن القوة المؤثرة m (g +dg) حيث dg هي فرق الجاذبية بين النقطتين. يمكن قياس مقدار التغير الذي حدث للزنبرك بدقة عالية عند انتقاله من موقع إلي آخر، ومن ثم حساب قيمة التغير الذي حدث في الجاذبية الأرضية المؤثرة (dg) عند كلا موقعي الرصد.



شكل (٦-٤) نظرية عمل جهاز الجرافيميتر

هذه المجموعة من الأجهزة هي الأرخص و الأشهر والمتوافرة بكثرة حول العالم، ومن أشهر الشركات المصنعة لها شركات LaCoaste and Romberg الأمريكية و شركة Scintrex الكندية. تتراوح دقة قياس الجاذبية النسبية بين ٠.٠١ و ٠.٠٠١ مللي جال أو ما يعادل ١٠ ، ١ ميكرو جال علي الترتيب.



شكل (٦-٥) أجهزة قياس الجاذبية الأرضية

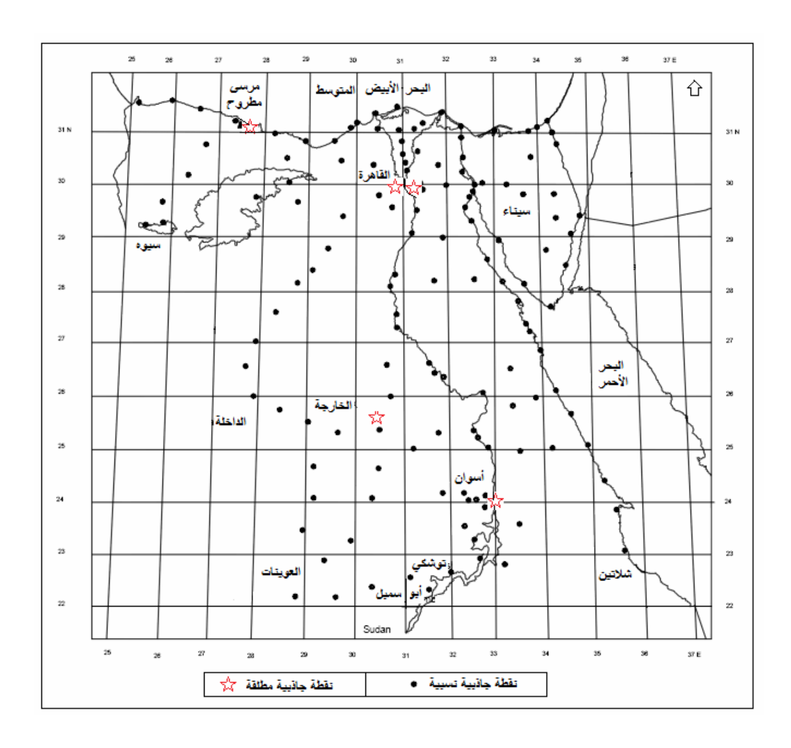
٦-٥ شبكات الجاذبية الأرضية

تستخدم قياسات و بيانات الجاذبية الأرضية في عدة مجالات منها الكشف عن الموارد الطبيعية الموجودة تحت سطح الأرض مثل المياه الجوفية و البترول و الغاز و المعادن ...الخ. لذلك فأن كل دولة تقوم بإنشاء شبكة أساسية من نقاط الجاذبية الأرضية لتعد مرجعا أساسيا لقياسات الجاذبية الأرضية في أنحاء الدولة. ومن وجهة النظر المساحية فأن شبكات الجاذبية الأرضية تعد أحد أنواع الشبكات الجيوديسية المطلوبة للعمل المساحي مثلها مثل شبكات المثلثات و شبكات الروبيرات وشبكات الجي بي أس.

في جمهورية مصر العربية – علي سبيل المثال – تم إجراء أول قياس للجاذبية الأرضية في مرصد حلوان (جنوب القاهرة) في عام ١٩٠٨م واعتبرت هذه بمثابة نقطة الجاذبية الأرضية الرئيسية لمصر وكانت قيمة الجاذبية عندها تساوي ٩٧٩.٢٩٥ جال. ثم تلا – في نفس العام - ذلك قياس الجاذبية الأرضية عند ٧ مواقع أخري في كلا من مصر و السودان وتم ربطهم علي نقطة الجاذبية الأرضية في لندن. في الفترة من ١٩٢٢م إلي ١٩٥٠م بدأت شركات التنقيب عن البترول في إجراء عدة قياسات جاذبية أرضية خاصة في مناطق رأس غارب و خليج السويس ووادي النطرون. في عام ١٩٧١م تم البدء في إنشاء الشبكة العالمية للجاذبية الأرضية International Gravity Standardization Network of 1971 والمعروفة اختصارا باسم IGNS71. تكونت هذه الشبكة من ٤٧٣ نقطة أساسية و ١٣٩٨١٦ نقطة فرعية حول العالم. كجزء من هذه الشبكة تم قياس الجاذبية الأرضية عند ١١ محطة في مصر وتراوحت دقة الجاذبية الأرضية بين ٠.٠٢٤ و ٠.٠٣٥ مللي جال. أما أول شبكة وطنية مصرية للجاذبية الأرضية فقد تم إنشاؤها في الفترة ١٩٧٤-١٩٨٤م من خلال الشركة العامة للبترول وأطلق عليها اسم الشبكة الوطنية الأساسية للجاذبية الأرضية لعام ١٩٧٧ أو اختصارا

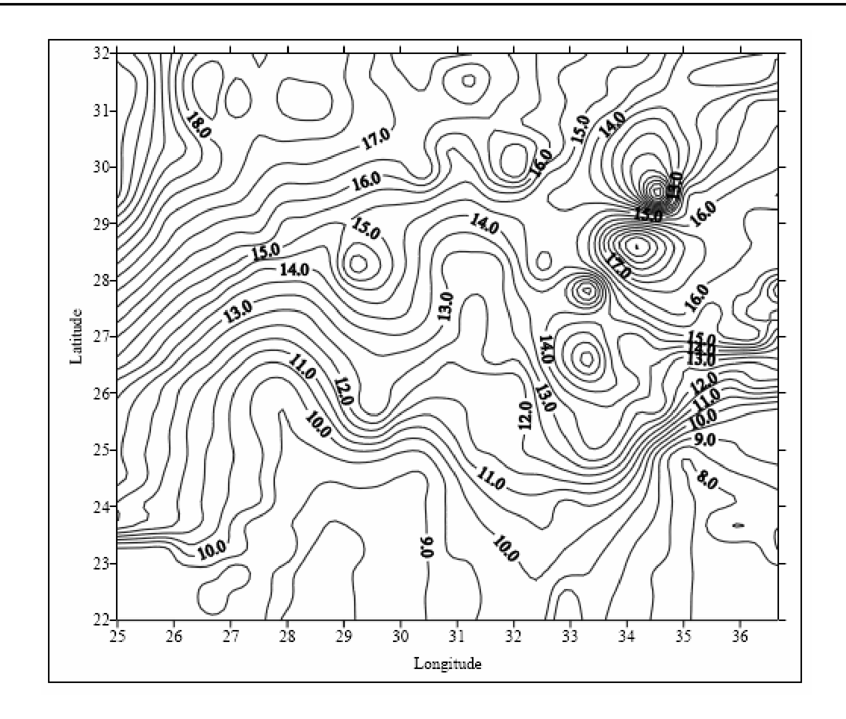
اسم NGSBN-77. تكونت هذه الشبكة الوطنية من ٦٦ محطة وتم ربطها علي الشبكة العالمية للجاذبية الأرضية عند محطات مطار القاهرة و مرصد حلوان و أسوان و الأقصر و بورسعيد.

قام معهد بحوث المساحة التابع للمركز القومي لبحوث المياه بوزارة الموارد المائية و الري في الفترة من ١٩٩٤م إلي ١٩٩٧م بإنشاء الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية Egyptian Gravity Standardization Network 1997 والمعروفة اختصارا باسم EGNSN97. تتكون الشبكة من عدد ١٥٠ نقطة تغطي تقريبا معظم أنحاء الدولة منهم ١٤٥ نقطة جاذبية نسبية بالإضافة إلي ٥ نقاط جاذبية مطلقة (تم قياسهم بالتعاون مع هيئة المساحة العسكرية الأمريكية التي تمتلك أحد أجهزة قياس الجاذبية المطلقة). تم رصد إحداثيات كل نقطة باستخدام تقنية الجي بي أس، كما تم رصد منسوب معظم النقاط باستخدام أسلوب الميزانية الدقيقة من أقرب روبير.



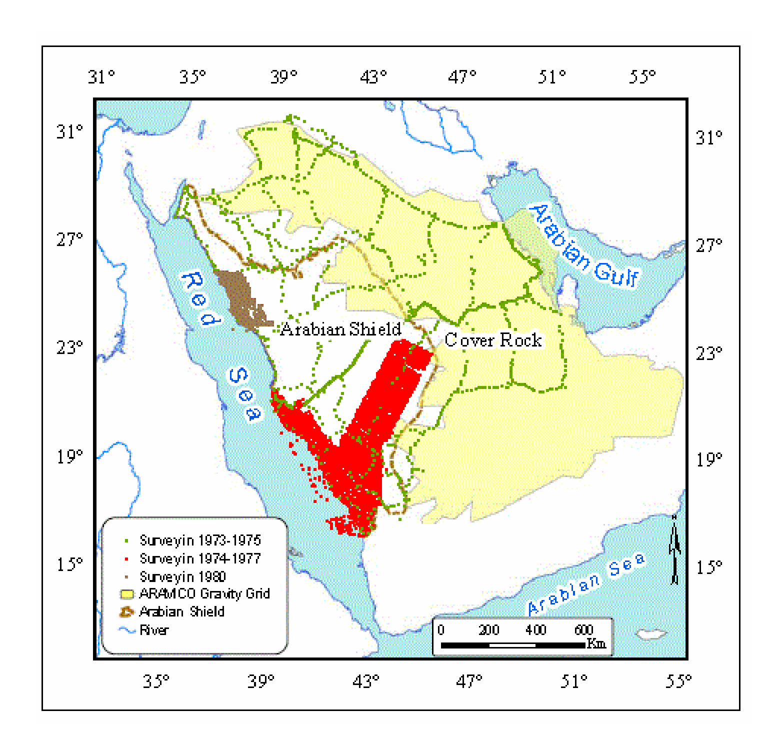
شكل (٦-٦) الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية

بعد ضبط قياسات الجاذبية الأرضية للشبكة تبين أن دقة الجاذبية الأرضية تبلغ في المتوسط ٠.٠٢١ مللي جال، وأن أقل قيمة للجاذبية الأرضية في مصر تبلغ ٩٧٨٦٨٠ مللي جال عند الحدود المصرية السودانية في أقصي الجنوب، وأن أقصي قيمة بلغت ٩٧٩٥٠٥ مللي جال عند ساحل البحر الأبيض المتوسط. من الشبكة القومية للجاذبية الأرضية أمكن تطوير نموذج جيويد يحدد الفروق بين سطح الجيويد وسطح الاليبسويد في مصر بحيث يمكن استخدامه في تحويل الارتفاعات المقاسة بالجي بي أس إلي مناسيب أو ارتفاعات عن متوسط منسوب سطح البحر. تراوحت قيم هذه الفروق بين ٧ أمتار تقريبا في أقصي الجنوب عند الحدود مع السودان و ٢٢ متر في أقصي شمال مصر و بمتوسط يبلغ ١٥ متر تقريبا.



شكل (٦-٧) الجيويد في مصر بناءا علي قياسات الجاذبية الأرضية

يعرض الشكل التالي قياسات الجاذبية الأرضية في المملكة العربية السعودية:



شكل (٦-٨) قياسات الجاذبية الأرضية في المملكة العربية السعودية

٦-٦ شذوذ الجاذبية الأرضية

يوجد نوعين من قيم الجاذبية الأرضية: الجاذبية الأرضية المقاسة أو المرصودة (ويرمز لها بالرمز g) والجاذبية النظرية Normal Gravity المحسوبة علي سطح الاليبسويد (ويرمز لها بالرمز اللاتيني جاما γ_o). والفرق بين كلتا القيمتين هو ما يطلق عليه اسم شذوذ الجاذبية Gravity Anomalies (يرمز لها بالرمز Δg)، أي أن:

$$\Delta g = g - \gamma \tag{6-3}$$

يعتمد حساب قيمة الجاذبية النظرية علي عناصر الاليبسويد العالمي المستخدم كمرجع جيوديسي يمثل سطح الأرض سواء هندسيا أو فيزيائيا. أحدث وأدق مرجع عالمي مستخدم في حساب قيم الجاذبية النظرية هو ذلك المعروف باسم المرجع الجيوديسي العالمي لعام ١٩٨٠ Geodetic Reference System 1980 والمعروف اختصارا باسم GRS80 (وهو تقريبا ينطبق مع الاليبسويد العالمي WGS84 المستخدم في تقنية الجي بي أس) والذي تحدد خصائصه القيم الأربعة التالية:

نصف القطر الأكبر: a = ٦٣٧٨١٣٧ متر
معامل التفلطح: f = ٠.٠٠٣٣٥٢٨١٠٦٨١١٨
مربع معامل المركزية: e^2 = ٠.٠٠٦٦٩٤٣٨٠٠٢٢٩٠
قيمة الجاذبية النظرية عند دائرة الاستواء: g_e = ٩٧٨٠٣٢.٦٧٧١٥ متر/ث٢

يمكن حساب قيمة الجاذبية النظرية علي مجسم GRS80 عند أي نقطة بالمعادلة التالية:

$$\gamma_o = g_e\,(1+0.001931851353 * \sin^2 \phi) \;/\; \sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \phi)} \tag{6-4}$$

حيث ϕ تمثل دائرة العرض الجيوديسية للنقطة.

تكون الجاذبية النظرية محسوبة علي سطح الاليبسويد بينما تكون الجاذبية الحقيقية مقاسة علي سطح الأرض، أما شذوذ الجاذبية فمطلوب معرفته (أو حسابه) علي سطح الجيويد لكي يمثل مدي شذوذ مجال الجاذبية الأرضية للجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عن مجال الجاذبية الأرضية للاليبسويد (الشكل الرياضي المفترض للأرض). في هذه الحالة يجب أن ننظر للكتلة الموجودة فيما هو أعلي من سطح الاليبسويد حتى موقع النقطة المطلوبة. بناءا علي طريقة اعتبار مكونات هذه الكتلة فتوجد عدة طرق لحساب شذوذ الجاذبية منهم:

<u>شذوذ الجاذبية للهواء الحر Free-Air Gravity Anomalies:</u>

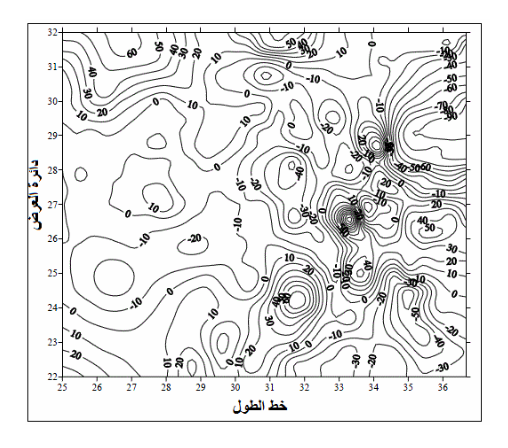
أسهل الطرق هو افتراض أن كل ما هو فوق سطح الاليبسويد ما هو إلا هواء ليس له أي كتله، أي أن النقطة المطلوبة ما هي إلا نقطة معلقة في الهواء (من هنا جاء اسم هذا النوع من شذوذ الجاذبية). يتم حساب قيمة شذوذ الجاذبية للهواء الحر كالآتي:

$$\Delta g_{FA} = g + 0.3086\ H - \gamma_0 \tag{6-5}$$

حيث:

Δg_{FA} شذوذ الجاذبية للهواء الحر
g الجاذبية الحقيقية المقاسة
γ_0 الجاذبية النظرية المحسوبة
H الارتفاع الأرثومتري (المنسوب) بالمتر

غالبا يستخدم شذوذ الجاذبية للهواء الحر في التطبيقات (الحسابات) المساحية و الجيوديسية مثل تحديد سطح الجيويد بسبب أنه لا يعتمد علي كتلة المواد الموجودة تحت سطح الأرض. لكن هذا النوع من شذوذ الجيويد لا يمثل الواقع الحقيقي بدقة حيث أنه قد أهمل تضاريس سطح الأرض وما يمكن أن يسببه من تأثير علي مجال الجاذبية الأرضية في هذا الموقع. لذلك فأن استخدام شذوذ الجاذبية الأرضية للهواء الحر في تحديد شكل الجيويد ينتج سطح يسمي شبيه الجيويد co-geoid or quasi-geoid وليس سطح الجيويد نفسه. لكن باستخدام تصحيحات إضافية (تعتمد علي معرفة قيم مناسيب سطح الأرض حول النقطة) يمكن تحويل سطح شبيه-الجيويد إلي سطح الجيويد نفسه. غالبا يكون الفرق بين هذين السطحين عدة ملليمترات في الأراضي المنبسطة، لكنه قد يكون أكبر في المناطق الجبلية شديدة التضرس.



شكل (٦-٩) شذوذ الجاذبية الأرضية للهواء الحر في مصر

<u>شذوذ جاذبية بوجير Bouguer Gravity Anomalies:</u>

افتراض أن كل ما هو فوق سطح الاليبسويد ما هو إلا هواء ليس افتراضا حقيقيا يماثل الواقع، فهذه المسافة ممتلئة بمواد لها كتله تؤثر في حساب شذوذ الجاذبية. بناءا علي كيفية التعامل مع هذه المادة توجد عدة طرق لحساب شذوذ الجاذبية أشهرهم هي طريقة العالم بوجير Bouguer. يتم حساب قيمة شذوذ جاذبية بوجير كالآتي:

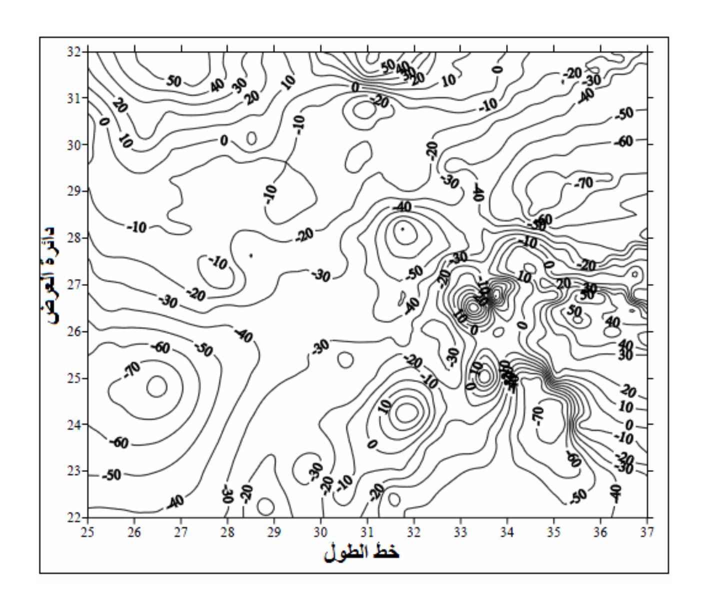
$$\Delta g_B = g + 0.3086\ H - 0.1119\ H - \gamma_0 + \delta g_T \qquad (6-6)$$

حيث:

Δg_B شذوذ جاذبية بوجير
g الجاذبية الحقيقية المقاسة

γ_0 الجاذبية النظرية المحسوبة
H الارتفاع الأرثومتري (المنسوب) بالمتر
δg_T تصحيح التضاريس Terrain correction.

غالبا يستخدم شذوذ جاذبية بوجير في التطبيقات (الحسابات) الجيوفيزيائية مثل الكشف عن الموارد الطبيعية و المعادن الموجودة تحت سطح الأرض.



شكل (٦-١٠) شذوذ جاذبية بوجير في مصر

٦-٧ تأثير الجاذبية الأرضية على القياسات الأرضية

عند إجراء أية قياسات مساحية أو جيوديسية علي سطح الأرض فأننا نضبط أفقية الجهاز (من خلال ميزان الماء) ونضبط رأسية أو تسامت الجهاز علي النقطة المحتلة من خلال خيط الشاغول. بهاتين الخطوتين (الضبط المؤقت لجهاز المساحة) نكون قد جعلنا جميع القياسات أو الأرصاد ستتم بالنسبة لمجال الجاذبية الأرضية. لكن من المعلوم أن جميع الحسابات (الإحداثيات) وإنتاج الخرائط سيتم علي سطح الاليبسويد لأنه الشكل الرياضي أو الهندسي المعلوم والذي يمثل شكل الأرض. وكما في الشكل (٦-٤) فأن العمودي علي سطح الجيويد (اتجاه خيط الشاغول) لا ينطبق مع العمودي علي سطح الاليبسويد، بل توجد زاوية بينهما تسمي زاوية انحراف الرأسي. من هنا فأن جميع القياسات المساحية الأرضية (خاصة عند إنشاء الشبكات الجيوديسية) يجب أن يتم تصحيحها أو إسقاطها من سطح الأرض إلي سطح الاليبسويد. من أمثلة هذه التصحيحات:

<u>تصحيح الانحراف الفلكي:</u>

$$\alpha_{12} - A_{12} = - \eta_1 \tan \varphi_1 - (\xi_1 \sin \alpha_{12} - \eta_1 \cos \alpha_{12}) \tan v_{12} \quad (6-7)$$

حيث:

A_{12} الانحراف الفلكي المقاس بين النقطة ١ و النقطة ٢.

α_{12} الانحراف الجيوديسي – علي سطح الاليبسويد - بين النقطة ١ و النقطة ٢.
v_{12} الزاوية الرأسية بين النقطتين.
φ_1 دائرة العرض الجيوديسية للنقطة ١.
η_1 , ξ_1 مركبتي زاوية انحراف الرأسي عند النقطة ١.

تصحيح الزاوية الرأسية:

$$v_{12} - V_{12} = - (\xi_1 \cos \alpha_{12} + \eta_1 \sin \alpha_{12}) \quad (6-8)$$

حيث:

V_{12} الزاوية الرأسية المقاسة بين النقطة ١ و النقطة ٢.
v_{12} الزاوية الرأسية علي سطح الاليبسويد بين النقطة ١ و النقطة ٢.

تصحيح الاتجاهات الأفقية:

$$t_{12} = T_{12} + \Delta T_{12} \quad (6-9)$$

$$\Delta T_{12} = -(\xi_1 \sin \alpha_{12} - \eta_1 \cos \alpha_{12}) \tan v_{12} + ؟ [(h_2 / 2 M_m) e^2 \sin 2\alpha_{12} \cos^2 \varphi_2] - ؟ [(S_{12} / N_m)^2 (e^2 /12) \sin 2\alpha_{12} \cos^2 \varphi_2] \quad (6-10)$$

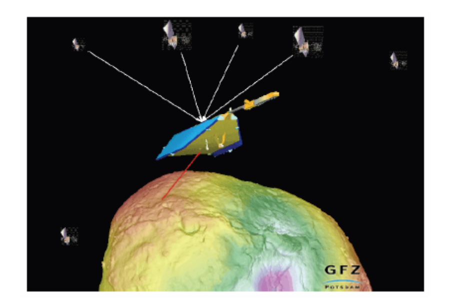
حيث:

؟ = "٢٠٦٢٦٥
M_m نصف قطر تكور الاليبسويد في اتجاه مستوي خطوط الطول Meridian plane
N_m نصف قطر تكور الاليبسويد في اتجاه المستوي الرأسي Prime Vertical plane
S_{12} المسافة الجيوديسية بين النقطتين

٦-٨ قياس الجاذبية الأرضية من الفضاء

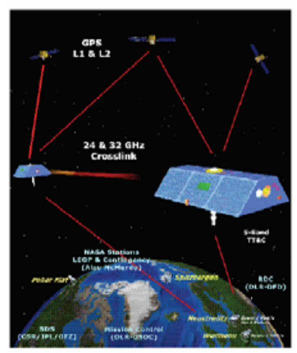
إن مدارات الأقمار الصناعية في الفضاء تتأثر (تتغير عن المدار النظري) بالتغير في قيم الجاذبية الأرضية للأرض، ومن ثم فيمكن تقدير قيم الجاذبية الأرضية عالميا من خلال مراقبة ودراسة التغيرات في مدارات الأقمار الصناعية. بناءا علي هذا المبدأ بدأ إطلاق أقمار صناعية مخصصة لدراسة مجال الجاذبية الأرضية للأرض.

تم إطلاق القمر الصناعي الألماني CHAMP (اختصار جملة CHAllenging Minisatellite Payload أي القمر الصغير المتحدي) في يوليه من عام ٢٠٠٠م. المهمة الأساسية لهذا القمر هي قياس تغيرات مجال الجاذبية الأرضية من خلال عدة مجسات sensors مركبة عليه، بالإضافة لأجهزة أخري مثل مستقبلات الجي بي أس لتحديد موقع القمر في الفضاء بدقة.



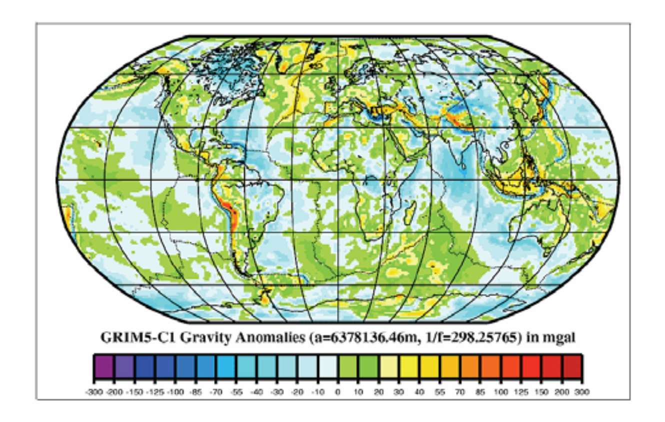
شكل (٦-١١) القمر الصناعي CHAMP لقياس الجاذبية الأرضية

قامت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) بإطلاق القمر الصناعي GRACE (اختصار جملة Gravity Recovery And Climate Experiment أي مهمة قياس الجاذبية الأرضية و الغلاف الجوي) في مارس من عام ٢٠٠٢م. يتكون هذا النظام من قمرين صناعيين يطيران علي ارتفاع ٥٠٠ كيلومتر من سطح الأرض والمسافة بينهما حوالي ٢٢٠ كيلومتر. يعتمد حساب الجاذبية الأرضية علي متابعة رصد المسافة بين القمرين من خلال أجهزة الجي بي أس، فالتغير في هذه المسافة يمكن ترجمته رياضيا إلي تغير في قيم الجاذبية الأرضية المؤثرة علي كل قمر منهما.



شكل (٦-١٢) القمر الصناعي GRACE لقياس الجاذبية الأرضية

تسمح بيانات هذه الأقمار الصناعية من تطوير نماذج عالمية لمجال الجاذبية الأرضية، ومنهم علي سبيل المثال نموذج GRIM5-S1 الذي يحدد قيم شذوذ الجاذبية الأرضية علي المستوي العالمي ومنه أيضا يمكن تطوير نموذج جيويد عالمي.



شكل (٦-١٣) شذوذ الجاذبية الأرضية علي المستوي العالمي

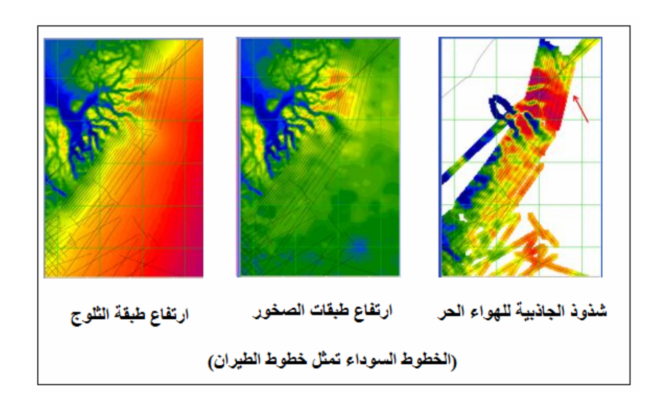
٦-٩ قياس الجاذبية الأرضية من الجو

في الستينات من القرن العشرين الميلادي ظهرت فكرة استخدام الطائرات في قياس كلا من الجاذبية الأرضية والمغناطيسية الأرضية. في البداية لم تكن الدقة عالية لكن مع التطورات التقنية ومنذ تقريبا عام ١٩٩٥م أصبحت هذه التقنية (قياسات الجاذبية المحمولة جوا Airborne Gravimetry) أكثر دقة وتكاد تصل لمستوي دقة ١ مللي جال. تعتمد هذه التقنية علي وجود مقياس للتسارع accelerometer يقيس فرق العجلة أثناء الطيران والذي يتم وضعه بطريقة ثابتة بقدر الإمكان داخل الطائرة (من خلال ربطه مع جهاز جيروسكوب) بالإضافة لوجود جهاز جي بي أس لتحديد مواقع (إحداثيات) الطائرة في كل لحظة.



شكل (٦-١٤) جهاز قياس الجاذبية الأرضية من الجو

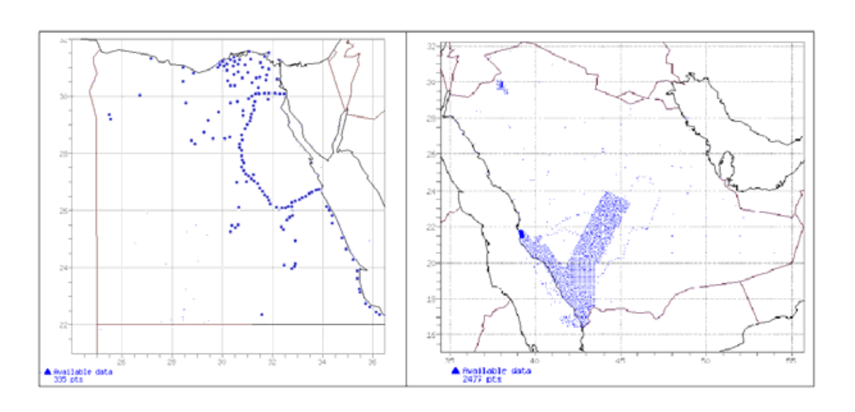
تتميز هذه التقنية بأنها أسرع وربما أرخص تكلفة من القياسات الأرضية للجاذبية الأرضية، أما من حيث الدقة فالجاذبية الأرضية المحمولة جوا بالطبع ليست أدق من القياسات الأرضية لكنها أحسن دقة من قياسات الجاذبية الأرضية المستنتجة من الأقمار الصناعية فهي تعطي تفاصيل أكثر و أدق لمجال الجاذبية الأرضية في منطقة محددة. لذلك فأن الجاذبية الأرضية المحمولة جوا لا تستخدم في أعمال الجيوديسيا (التي تتطلب دقة عالية) لكنها مناسبة لتطبيقات الجيولوجيا و الجيوفيزياء الإقليمية (لدراسة منطقة كبيرة). فعلي سبيل المثال تم استخدام الجاذبية الأرضية المحمولة جوا في تحديد ارتفاع طبقات الجليد و ارتفاع الطبقات الصخرية في منطقة شمال جرينلاند في عام ٢٠١١م.



شكل (٦-١٥) تطبيقات الجاذبية الأرضية من الجو في منطقة جرينلاند ٢٠١١م

٦-١٠ المنظمات العالمية فى مجال الجاذبية الأرضية

توجد العديد من المنظمات الدولية المتخصصة في مجال الجاذبية الأرضية و تطبيقاتها، وتقدم هذه الجهات خدمات علمية في هذا المجال. من أهم هذه الجهات المكتب العالمي للجاذبية الأرضية International Gravimetric Bureau (المعروف اختصارا باسم BGI وهي الحروف الثلاثة من الاسم الفرنسي للمكتب Bureau Gravimetrique International). يضم هذا المكتب قاعدة بيانات ضخمة لقياسات الجاذبية الأرضية حول العالم سواء القياسات الأرضية أو القياسات البحرية، وأيضا نماذج الجاذبية الأرضية المستنبطة من قياسات الأقمار الصناعية. يتيح المكتب بياناته مجانا عن طريق البريد الالكتروني للعاملين والمهتمين بالجاذبية الأرضية حول العالم. (http://bgi.obs-mip.fr/en/data-products/Gravity-Databases).



شكل (٦-١٦) مواقع نقاط الجاذبية الأرضية لكلا من مصر و السعودية المتاحة في موقع المكتب العالمي للجاذبية الأرضية BGI

أيضا تعد المنظمة العالمية لخدمات مجال الجاذبية الأرضية International Gravity Field Service (اختصارا IGFS) من المنظمات الدولية المتخصصة في مجال الجيوديسيا و الجاذبية الأرضية (http://www.igfs.net/) والتي تعد العقل الاستراتيجي لتوحيد جهود الجهات المحلية و الإقليمية و الدولية المتخصصة. وتضم هذه المنظمة عدة منظمات أو خدمات متخصصة منها:

المنظمة الدولية لنماذج الجيويد International Geoid Service
http://www.iges.polimi.it/

المركز الدولي لنماذج المد و الجزر International Center for Earth Tides
http://www.upf.pf/ICET

المركز الدولي لنماذج الجاذبية الأرضية العالمية International Center for Global Gravity Earth Field Models
http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html

المنظمة الدولية لنماذج الارتفاعات الرقمية International DEM Service
http://www.cse.dmu.ac.uk/EAPRS/iag/index.html

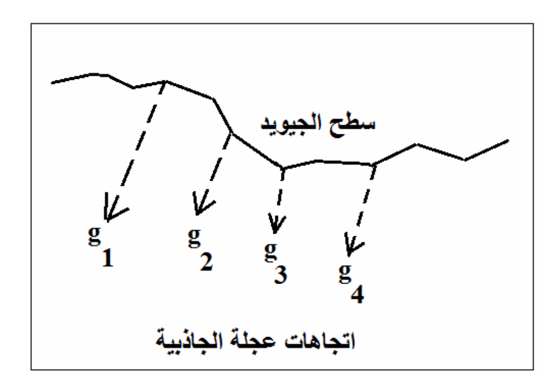
الفصل السابع

الجيويد

كلمة جيويد geoid كلمة لاتينية مكونة من مقطعين: ge أي الأرض و oid أي شبيه، أي أن كلمة جيويد تعني شبيه الأرض. وظهرت هذه الكلمة لأول مرة علي يد العالم جاوس في القرن السابع عشر الميلادي.

٧-١ سطح الجيويد

يتميز كوكب الأرض بمجال الجاذبية المؤثرة علي كل نقطة علي سطحه، ولكي نحدد الشكل الحقيقي للأرض يجب الاعتماد علي هذا المجال. أبسط تعريفات الجيويد أنه الشكل الحقيقي للأرض الذي يكون عموديا علي اتجاه الجاذبية عند كل نقطة. لكن – وهذه أول مشكلة – فأن قيمة عجلة الجاذبية الأرضية تختلف من نقطة لأخرى بناءا علي عدة عوامل (مثل دائرة العرض ونوع المواد تحت سطح الأرض وهكذا)، وبالتالي فأن شكل سطح الجيويد لن يكون منتظما بل سيكون شديد التعرج. ومن هنا ستنتج المشكلة الثانية وهي أن تعرج هذا الشكل لن يمكن معه وصف الجيويد بمعادلات رياضية (مثل معادلات الكرة أو الاليبسويد) وبالتالي فلن يمكن استخدامه في تحديد المواقع (حساب الإحداثيات) وإنشاء الخرائط. لكن مع كل ذلك فأن الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض.



شكل (٧-١) الجيويد سطح متعرج

لتعريف الجهد Potential (أو جهد الجاذبية الأرضية Gravitational Potential) ننظر لحركة الكتلة الصغيرة (وحدة الكتلة) أثناء مسارها في المسافة بينها و بين الكتلة الكبرى (كتلة الأرض) في الشكل الذي يعبر عن قوة الجذب بين أي كتلتين (شكل ٦-١). نجد أن الكتلة m ستبذل شغل work لكي تتحرك مسافة صغيرة باتجاه الكتلة الكبرى M، وهذا الشغل W يبلغ:

$$W = F\,dr \qquad (7\text{-}1)$$

حيث: F تمثل قيمة عجلة الجذب بين الكتلتين، dr تمثل وحدة المسافة.

بتعويض المعادلة (٦-٢) بقيمة g الممثلة لعجلة الجذب):

$$W = (G\,M / r^2)\,dr \qquad (7\text{-}2)$$

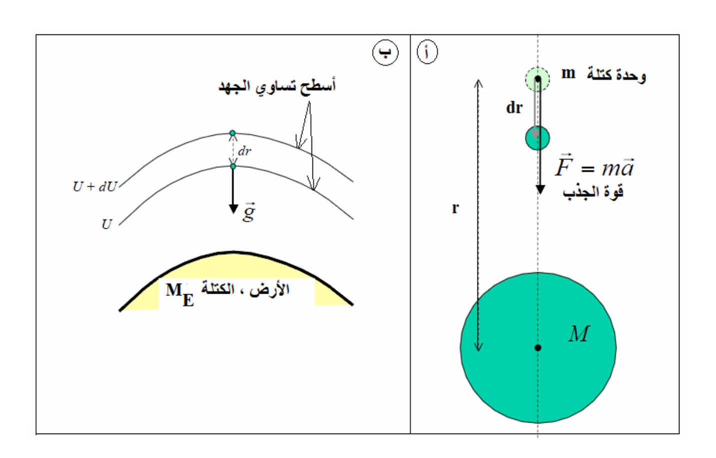
أما الجهد U فيعرف بأنه قيمة الشغل اللازم لانتقال الكتلة m من ما لا نهاية إلي المسافة المعلومة r (المسافة بين الكتلتين). أي أن الجهد هو تكامل لكل قيم الشغل المبذولة عند كل وحدة مسافة dr طوال المسافة المطلوبة r:

$$U = \int_{\infty}^{r} (M/r2)\, dr$$

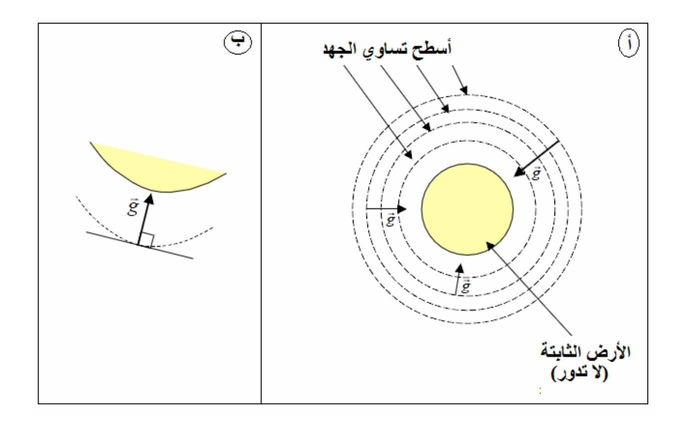
$$= -\ G\,M / r \qquad (7\text{-}3)$$

حيث G هو ثابت نيوتن للجاذبية الأرضية، والإشارة السالبة في المعادلة السابقة للدلالة علي أن الجهد يكون في اتجاه تناقص المسافة r.

يمكن النظر للجهد علي أنه انحدار gradient لعجلة الجاذبية الأرضية. فان كانت الأرض جسم ثابت (لا يدور) متساوي الكثافة فأن الخط الواصل بين قيم الجهد المتساوية سيسمي سطح تساوي الجهد equi-potential surface (يمكن تخيله كما لو كان خط كنتور يصل بين النقاط المتساوية المنسوب). وفي هذه الحالة ستوجد عدة سطوح من أسطح تساوي الجهد وستكون كلها متوازية حول الأرض، وسيكون اتجاه عجلة الجاذبية الأرضية هو الاتجاه العمودي علي أي سطح من هذه الأسطح.

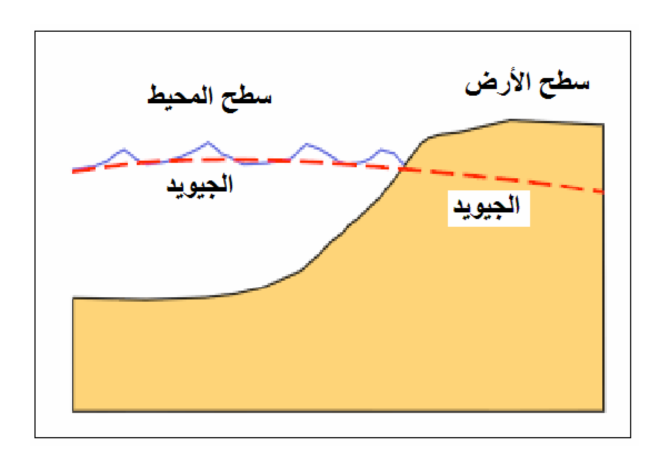


شكل (٧-٢) أسطح تساوي الجهد (جهد الجاذبية الأرضية)

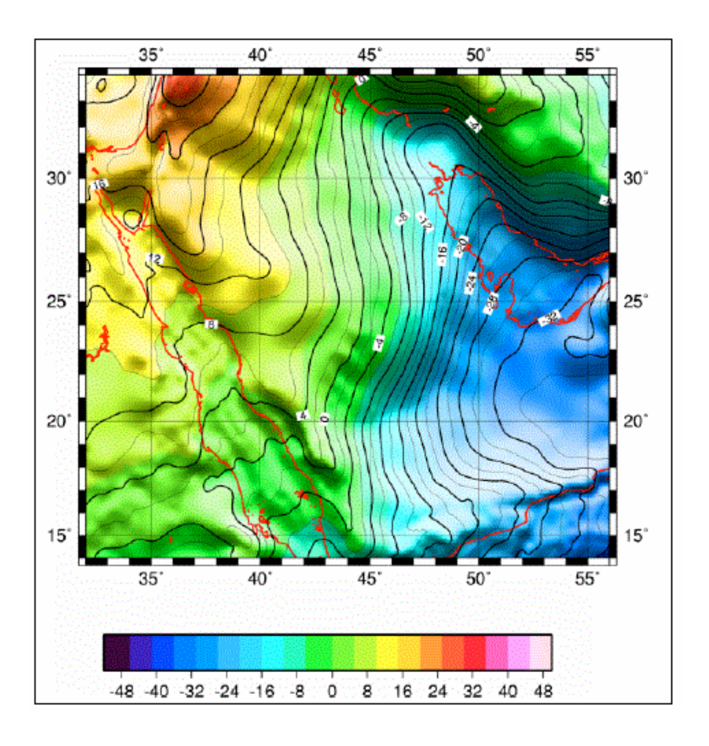


شكل (٧-٣) توازي أسطح تساوي الجهد للأرض الثابتة

لكن الواقع الحقيقي للأرض أنها جسم يدور حول نفسه (غير ثابت) مما يجعل عجلة الجذب هب محصلة قوة الجذب و قوة الطرد المركزية، كما أن كثافة المادة داخل الأرض مختلفة وليست ثابتة. من هنا فأن أسطح تساوي الجهد في الحقيقية لن تكون متوازية. بالنظر إلي أن ثلاثة أرباع الأرض تقريبا مغطي بالماء، وأن سطح المياه ما هو إلا سطح متساوي الجهد (من وجهة نظر علم ديناميكا السوائل Fluid Dynamics) فسيكون هناك **سطح متساوي الجهد ينطبق مع سطح البحر**. تم اختيار (اعتبار) أن السطح متساوي الجهد الذي ينطبق مع متوسط سطح البحر هو الذي يمثل الشكل الحقيقي للأرض (بفرض امتداده تحت اليابسة أيضا) ، ومن ثم تم إطلاق اسم الجيويد علي هذا السطح. أي أن في البحار و المحيطات فأن متوسط سطح المياه (بافتراض عدم وجود أي تيارات أو أمواج) هو سطح الجيويد، أما في اليابسة فأن الجيويد سطح تخيلي أو افتراضي لا يمكن تحديده فيزيائيا بل يمكن حسابه من بعض القياسات.



شكل (٧-٤) سطح الجيويد



شكل (٧-٥) نموذج لسطح الجيويد في المملكة العربية السعودية

٧-٢ النمذجة الكروية الهارمونية لمجال الجاذبية الأرضية

الجيويد هو أحد أسطح تساوي الجهد التي تعتمد علي خصائص مجال الجاذبية الأرضية للأرض، وهو سطح غير منتظم شديد التعرج بسبب أن مجال الجاذبية الأرضية ذاته يتغير من مكان لآخر. حاول علماء الجيوديسيا و الجاذبية الأرضية منذ عدة عقود في إيجاد معادلة رياضية (متعددة الحدود) لوصف مجال الجاذبية الأرضية للأرض. لكن إيجاد قيمة مجال الجاذبية الأرضية عند موقع (نقطة) محددة يتطلب إيجاد تأثير الجاذبية الأرضية في العالم كله حيث أن مجال الجاذبية هو مجال (أو سطح) متصل continuous surface وليس مجال متقطع discrete surface، بمعني أن عند أي نقطة علي الأرض فأن قيمة الجاذبية في هذا المكان تتأثر بمجال الجاذبية الأرضية كله، فالمناطق القريبة من هذه النقطة سيكون لها تأثير كبير بينما المناطق البعيدة عنها سيكون لها تأثير بسيط (لكنه موجود مهما صغرت قيمته).

يمكن تمثيل شذوذ الجهد T للأرض (الفرق بين الجهد علي الجيويد و الجهد علي الاليبسويد) باستخدام شذوذ الجاذبية (الفرق بين الجاذبية المقاسة و الجاذبية النظرية) Δg من خلال معادلة تكامل استوكس Stockes' integral التالية:

$$T = \frac{R}{4\Pi} \iint_{\sigma} \Delta g \; S(\Psi) \; d\sigma \qquad (7\text{-}4)$$

حيث:

R نصف قطر الأرض المتوسط

σ يمثل سطح الأرض كله

$S(\Psi)$ تسمي معامل استوكس

$$S(\Psi) = \frac{1}{\sin(\Psi/2)} - 6\sin(\Psi/2) + 1 - 5\cos(\Psi) - 3\cos(\Psi)\ln[\sin(\Psi/2) + \sin^2(\Psi/2)] \qquad (7\text{-}5)$$

$$\sin^2(\Psi/2) = \sin^2((\varphi_p - \varphi)/2) + \sin^2((\lambda_p - \lambda)/2)\cos\varphi_p \cos\varphi \qquad (7\text{-}6)$$

حيث:

Ψ المسافة الكروية بين النقطة المعلوم عندها قيمة الجاذبية الأرضية (إحداثياتها هي φ ، λ) والنقطة المطلوب عندها حساب قيمة الجاذبية الأرضية (إحداثياتها هي φ_p, λ_p).

المعادلة التالية تمثل العلاقة بين شذوذ الجهد T وقيمة شذوذ الجيويد N (المسافة بين الجيويد و الاليبسويد) وقيمة الجاذبية النظرية γ (المحسوبة علي الاليبسويد):

$$T = \gamma N \qquad (7\text{-}7)$$

بتعويض المعادلة (٧-٧) في المعادلة (٧-٤) ينتج:

$$N = \frac{T}{\gamma} = \frac{R}{4 \Pi \gamma} \iint_{\sigma} \Delta g \ \ S(\Psi) \ d\sigma \qquad (7\text{-}8)$$

تكمن مشكلة المعادلتين ٧-٤ و ٧-٨ في أنهما يتطلبان التكامل المزدوج (في كلا اتجاهي خطوط الطول و دوائر العرض) علي كافة أرجاء الأرض، أي أنهما يتطلبان معرفة شذوذ الجاذبية Δg في كل نقطة علي سطح الأرض، وهذا بالطبع غير ممكن. من هنا تم ابتكار أسلوب يعرف بالنمذجة الهارمونية لمجال الجاذبية الأرضية Spherical Harmonic Expansion (يمكن الرجوع للمراجع في نهاية الكتاب للقراءة التفصيلية عن هذا الأسلوب وتطبيقاته في مجال الجيويد، حيث أننا سنتعرض هنا للمبادئ العامة له فقط).

يمكن تمثيل الجهد الكروي V (جهد الأرض كما لو كانت كرة Spherical Potential) من خلال معادلة تقريبية باستبدال التكامل المزدوج بعملية جمع مزدوج لتسهيل الحسابات:

$$V = \frac{GM}{r}\left(1 + \sum_{n=2}^{n_{max}} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^{n} \overline{P}_{nm}(\sin\phi)\left[\overline{C}_{nm}\cos m\lambda + \overline{S}_{nm}\sin m\lambda\right]\right) \qquad (7\text{-}9)$$

حيث:

$\overline{C}_{nm}$ و $\overline{S}_{nm}$ معاملات يتم حسابها

r المسافة الكروية بين النقطة المطلوب حساب الجهد عندها (إحداثياتها هي λ ، φ) و مركز الأرض.

$\overline{P}_{nm}$ تسمي متعددة الحدود للعالم لاجاندار Lagendre associated polynomial والتي تحسب كالآتي:

$$P_\ell^m(\cos\theta) = (-1)^m(\sin\theta)^m \ \frac{d^m}{d(\cos\theta)^m}\left(P_\ell(\cos\theta)\right) \qquad (7\text{-}10)$$

المعادلة ٧-٩ تمثل نموذج هارموني كروي لوصف مجال جهد الجاذبية الأرضية للأرض كلها. لحل هذه المعادلة نحدد أولا قيمة درجة النموذج degree (n في المعادلة) لعملية الجمع الخارجية. مثلا معادلة الخط المستقيم لها درجة = ١ ، ومعادلة الدائرة لها درجة = ٢. أما عملية الجمع الثانية في المعادلة فأنها ستتكرر حسب قيمة نظام النموذج order (m في المعادلة). فعند كل قيمة للدرجة n سيتم تنفيذ عدد m من عمليات الجمع الداخلية. إذا حددنا درجة النموذج = ١٠٠ مثلا فهذا معناه أن هناك ١٠٠ عنصر مجهول في المعادلة ٧-٩ من النوع $\overline{C}_{nm}$ و ١٠٠ عنصر مجهول آخر من النوع $\overline{S}_{nm}$، أي أن المعادلة ٧-٩ سيكون بها ٢٠٠ عنصر مجهول في كل مرة من مرات حساب عملية الجمع الثانية، وبالتالي سيكون هناك حوالي ٢٠٠×١٠٠ = ٢٠ ألف عنصر مجهول لإتمام عمليتي الجمع الأولي و الثانية . ولكي يتم حساب هذه العناصر المجهولة يجب أن يكون لدينا (علي الأقل) ٢٠ ألف قيمة مقاسة للجهد

٧، أو بمعني آخر ٢٠ ألف قيمة مقاسة للجاذبية الأرضية ذاتها في كافة أنحاء الأرض. أما إذا حددنا قيمة درجة النموذج degree (n في المعادلة) لتبلغ ٣٦٠ فأن عدد العناصر المجهولة (المطلوب حسابها) سيصل إلي ١٣٠٣١٧ عنصرا.

لكن ماذا عند دقة هذا النماذج الهارمونية في تمثيل مجال الجاذبية الأرضية لسطح الأرض؟ يمكن حساب درجة وضوح أو طول الموجة لأي نموذج من خلال المعادلة:

طول موجة النموذج = ١٨٠ / درجة النموذج n (٧-١١)

مثال:

لنموذج درجته n تساوي ١٠٠ فأن طول الموجة = ١٨٠ / ١٠٠ = ١.٨ درجة (من درجات خطوط الطول و دوائر العرض). حيث أن الدرجة = ١١٠ كيلومتر تقريبا، فأن درجة وضوح النموذج = ١٩٨ كيلومتر تقريبا.

و لنموذج درجته n تساوي ٣٦٠ فأن طول الموجة = ١٨٠ / ٣٦٠ = ٠.٥ درجة، أي أن درجة الوضوح للنموذج = ٠.٥ × ١١٠ = ٥٥ كيلومتر تقريبا. أي أن هذا النموذج سيحسب قيمة متوسطة للجيويد كل ٥٥ كيلومتر، مما يدل علي أن النموذج لا يستطيع تحديد تفاصيل تعرج أو تغير سطح الجيويد بدقة.

لكن أهم مميزات النماذج الهارمونية لمجال الجاذبية الأرضية أنها تساعد في تحديد الخصائص العامة لهذا المحال علي المستوي العالمي، وهو الذي لا يستطيع أي فرد أو جهة محلية أن يقوم به بمفرده. أما للحصول علي تمثيل أدق لمجال الجاذبية الأرضية (ومن ثم سطح الجيويد) فأننا نقوم بدمج النماذج الهارمونية العالمية مع قياسات محلية للجاذبية الأرضية (في منطقة أو دولة معينة) بحيث تعطينا النماذج الهارمونية التغيرات العامة في مجال الجاذبية الأرضية للأرض كلها ثم تعطينا القياسات المحلية التغيرات الدقيقة في هذه المنطقة، ومن ثم فأن الجمع بين كلا النوعين يمكننا من التحديد الدقيق لمجال الجاذبية الأرضية (ولسطح الجيويد) في هذه المنطقة أو الدولة.

٧-٣ نماذج الجيويد العالمية

تعد طرق التمثيل الهارموني لمجال جهد الأرض Spherical harmonic representation of the Earth's geopotential field من الطرق المستخدمة في نمذجة الجيويد علي المستوي العالمي باستخدام أرصاد مختلفة النوع Heterogeneous Data. تقوم الجهات العلمية المتخصصة بتجميع القياسات الجيوديسية (جاذبية أرضية ، جي بي أس ، أرصاد فلكية .. الخ) من كل مناطق العالم بالإضافة لقياسات الأقمار الصناعية وإدخالها في برامج كمبيوتر متخصصة لتطوير نماذج عالمية تصف تغير الجيويد عالميا Global Geoid Models أو اختصارا GGM.

بدأ تطوير نماذج الجيويد العالمية منذ عام ١٩٦٠ وإنتاجها مستمر حتى الآن ، ويمكن الحصول مجانا علي أي نموذج جيويد عالمي من موقع المركز الدولي لنماذج الجاذبية الأرضية العالمية International Center of Gravity Earth Models أو اختصارا ICGFM في الرابط: http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html لكن نظرا لعدم

توافر عدد ضخم من القياسات الجيوديسية تغطي كل أنحاء الأرض بانتظام فلم يكن ممكنا تطوير نماذج عالمية ذات تباين أفقي resolution كبير ، فمعظم النماذج حتى عام ٢٠٠٨ لم تزيد درجة تمثيل النموذج degree عن ٣٦٠ بما يدل علي أن النموذج يعطي نقطة كل ٠.٥° أو تقريبا ٥٥ كيلومتر أفقيا علي سطح الأرض. تجدر الإشارة إلي أن معظم برامج حسابات أرصاد الجي بي أس تعتمد في داخلها علي أحد نماذج الجيويد العالمية (والأشهر منهم هو نموذج EGM96) بحيث أن البرنامج يستطيع حساب منسوب نقاط الجي بي أس المرصودة. لكن من المهم جدا علي مستخدم الجي بي أس أن يعرف دقة هذا النموذج العالمي وبالتالي دقة هذا المنسوب المحسوب. فعلي سبيل المثال فأن دقة النموذج العالمي EGM96 في مصر تبلغ ٠.٣٩ متر ، أي أن المنسوب أو الارتفاع الأرثومتري المحسوب من هذا النموذج لن يكون أدق من هذا المستوي. لذلك لا يمكن الاعتماد علي نماذج الجيويد العالمية بمفردها في التطبيقات المساحية و الجيوديسية إنما يتم تطعيمها بقياسات محلية لزيادة دقتها في منطقة العمل.

الجدول التالي يعرض خصائص بعض نماذج الجيويد العالمية الحديثة (التي يمكن الحصول عليها من الرابط السابق):

اسم النموذج	السنة	الدرجة	نوع البيانات المستخدمة
GO_CONS_GCF_2_DIR_R3	٢٠١١	٢٤٠	قياسات أقمار صناعية
GIF48	٢٠١١	٣٦٠	قياسات أقمار صناعية
EIGEN-6C	٢٠١١	١٤٢٠	قياسات أقمار صناعية مع أرصاد أرضية وأرصاد بحرية
EIGEN-51C	٢٠١٠	٣٥٩	قياسات أقمار صناعية مع أرصاد أرضية وأرصاد بحرية
GGMO3C	٢٠٠٩	٣٦٠	قياسات أقمار صناعية مع أرصاد أرضية وأرصاد بحرية
EGM2008	٢٠٠٨	٢١٦٠	قياسات أقمار صناعية مع أرصاد أرضية وأرصاد بحرية
PGMA2000	٢٠٠٠	٣٦٠	قياسات أقمار صناعية مع أرصاد أرضية وأرصاد بحرية
EGM96	١٩٩٦	٣٦٠	قياسات أقمار صناعية مع أرصاد أرضية وأرصاد بحرية

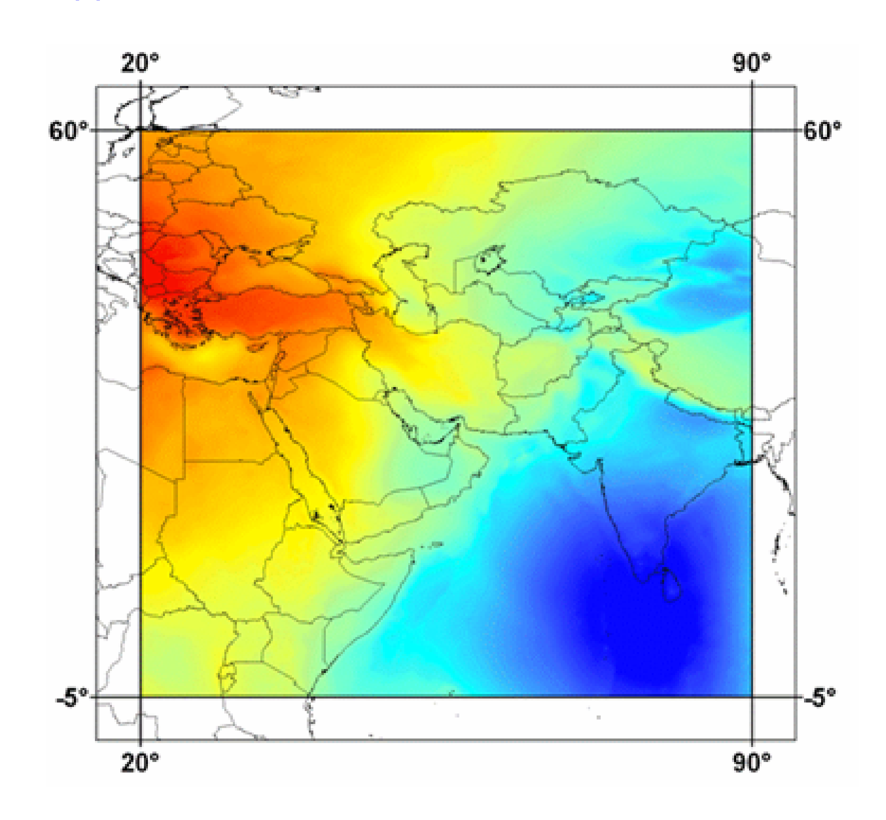
٧-٣-١ نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨

في أبريل ٢٠٠٨ أطلقت هيئة المساحة العسكرية الأمريكية نموذج الجيويد العالمي EGM2008 وأتاحته للجميع مجانا علي شبكة الانترنت. يعد هذا النموذج ثورة علمية في مجال نماذج الجيويد العالمية ، حيث أن درجة النمذجة degree قد بلغت ٢١٦٠ مقارنة بدرجة تساوي ٣٦٠ لجميع نماذج الجيويد العالمية السابقة له. ترجع هذه الدرجة العالية في تمثيل حيود الجيويد إلي قاعدة البيانات الجيوديسية (وخاصة قياسات شذوذ الجاذبية) الضخمة التي استخدمت في تطوير نموذج EGM2008 والتي غطت تقريبا كل سطح الأرض سواء اليابسة أو البحار مما لم يتوافر لأي جهة عالمية قبل ذلك. و لهذا النموذج ذو الدرجة التي تبلغ ٢١٦٠ ، فأن طول الموجة (من المعادلة ٧-١١) = ١٨٠ / ٢١٦٠ = ٠.٠٨٣٣٣ درجة أي

تقريبا ٥' ، أي أن درجة الوضوح للنموذج = ٠.٠٨٣٣ × ١١٠ = ٩.٢ كيلومتر تقريبا. أي أن هذا النموذج سيحسب قيمة متوسطة للجيويد كل ٩.٢ كيلومتر (شكل ٧-٥).

نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨ EGM2008 متاح للجميع علي الانترنت في الرابط:
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008

كما يوجد وصف تفصيلي لطرق تطويره والبيانات المستخدمة في الرابط:
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/NPavlis&al_EGU2008.ppt



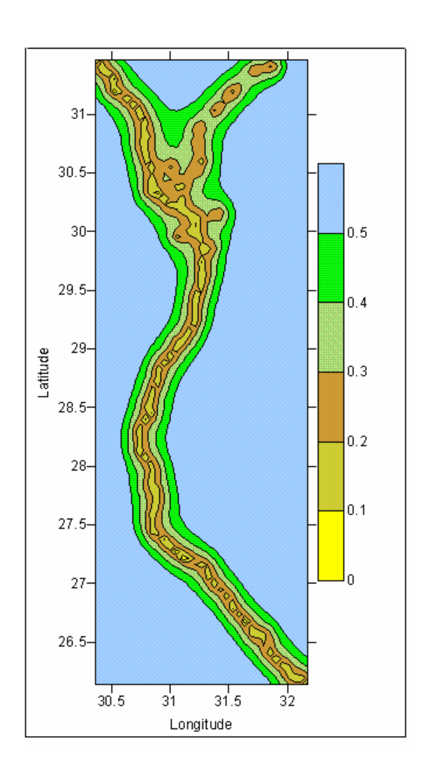
شكل (٧-٦) حيود الجيويد في منطقة الشرق الأوسط من النموذج العالمي EGM2008

الأهم من درجة وضوح أي نموذج جيويد عالمي هو مدي دقة النموذج نفسه accuracy، والتي يتم تحديدها عند مقارنة نتائج النموذج مع قياسات أرضية دقيقة. لكي نقيم دقة نموذج EGM2008 (علي سبيل المثال) في منطقة جغرافية أو دولة محددة فنقوم بتجميع قياسات حيود الجيويد N عند بعض النقاط ونقارنها بقيم حيود الجيويد الناتجة من النموذج العالمي، ونحسب الفروق بين كلا القيمتين عند كل نقطة ثم نحسب الانحراف المعياري لهذه الفروق جميعا لتكون قيمته مؤشر لدقة نموذج الجيويد العالمي.

تقوم المنظمة الدولية لنماذج الجيويد العالمية باختبار و تقييم دقة نماذج الجيويد عند مجموعة كبيرة من النقاط الجيوديسية المعلومة حول العالم. والجدول التالي يعرض مؤشرات دقة بعض هذه النماذج:

اسم النموذج	دقة النموذج (متر)			
	أمريكا	كندا	أوروبا	استراليا
GO_CONS_GCF_2_DIR_R3	٠.٤٣	٠.٣٥	٠.٤٢	٠.٣٦
GIF48	٠.٣٢	٠.٢٣	٠.٢٨	٠.٢٤
EIGEN-6C	٠.٢٥	٠.١٤	٠.٢١	٠.٢٢
EIGEN-51C	٠.٣٤	٠.٢٥	٠.٢٩	٠.٢٣
GGMO3C	٠.٣٥	٠.٢٨	٠.٣٣	٠.٢٦
EGM2008	٠.٢٥	٠.١٣	٠.٢١	٠.٢٢
PGMA2000	٠.٣٨	٠.٣٦	٠.٤٨	٠.٢٩
EGM96	٠.٣٨	٠.٣٦	٠.٤٨	٠.٣٠

أي أن دقة نموذج الجيويد العالمي EGM2008 (يسمي أيضا EGM08) في حدود ± ٠.٢٣ متر ، بمعني أن عند استنتاج قيمة حيود الجيويد N من هذا النموذج فأنها تحتمل خطأ في المتوسط يبلغ ٢٣ سنتيمتر. وقد قام المؤلف وبعض زملاؤه ببحث - منشور في مجلة الهندسة المساحية الأمريكية في عام ٢٠١٠م - لتحديد دقة نموذج EGM2008 في مصر (باستخدام قيم معلومة لحيود الجيويد في شمال وادي النيل من رشيد و دمياط إلي أسيوط جنوبا) وخلصوا إلي أن دقة هذا النموذج في مصر تبلغ أيضا ± ٠.٢٢ متر. ومن ثم إذا استخدمنا قيمة حيود الجيويد لهذا النموذج في حساب منسوب أي نقطة فأن هذا المنسوب أيضا سيكون به خطأ في حدود ± ٠.٢٢ متر في المتوسط. وهذه نقطة هامة يجب أن يراعيها الجميع فالبعض يعتقد أن استخدام نماذج الجيويد العالمية المجانية قد يغني عن تنفيذ الميزانية لحساب مناسيب النقاط.



شكل (٧-٧) دقة حيود الجيويد من النموذج العالمي EGM2008 في منطقة شمال وادي النيل بمصر

٧-٣-٢ استخدام EGM2008 لحساب الجيويد:

توجد عدة طرق لتطبيق نموذج الجيويد العالمي EGM2008 لحساب قيمة حيود الجيويد N عند أي نقطة (في أي مكان في العالم). نستعرض هنا بعض هذه الطرق و البرامج:

(أ) البرنامج الرئيسي لحساب الجيويد من هيئة المساحة الأمريكية:

تتيح هيئة المساحة الأمريكية ملف يحتوي بيانات الجيويد EGM2008 للعالم وبرنامج للحساب في صفحتها الرئيسية بالرابط التالي:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html

في هذه الصفحة يمكن تحميل ملفي البيانات الأساسين لجيويد EGM2008 (بيانات النمذجة الهارمونية الكروية) من:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/EGM2008_to2190_TideFree.gz

والملف الثاني من:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Zeta-to-N_to2160_egm2008.gz

وهذين الملفين مضغوطين (zipped) ويمكن فك الضغط عنهما ببرنامج winzipe أو برنامج winrare.

أما برنامج الحسابات نفسه فيمكن تحميله من الرابط:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/hsynth_WGS84.exe

لتنفيذ تشغيل الملف الأخير فيجب أن تكون إحداثيات النقاط (المطلوب عندها حساب قيمة حيود الجيويد) مكتوبة في ملف نصي بطريقة format معينة. يوجد نموذج لهذا الملف النصي يمكن تحميله من الرابط:

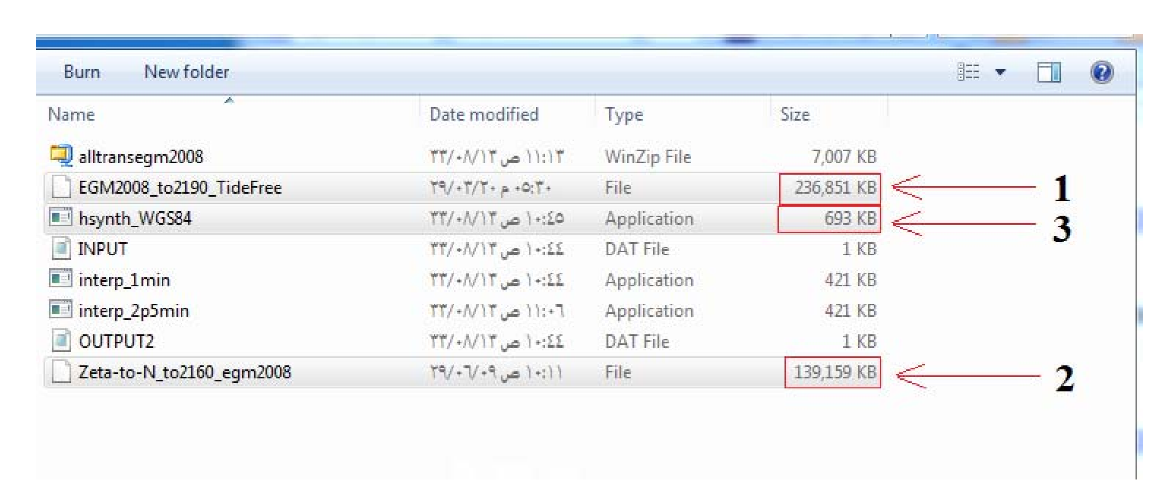
http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/INPUT.DAT

أيضا يوجد ملف للنتائج في الرابط:

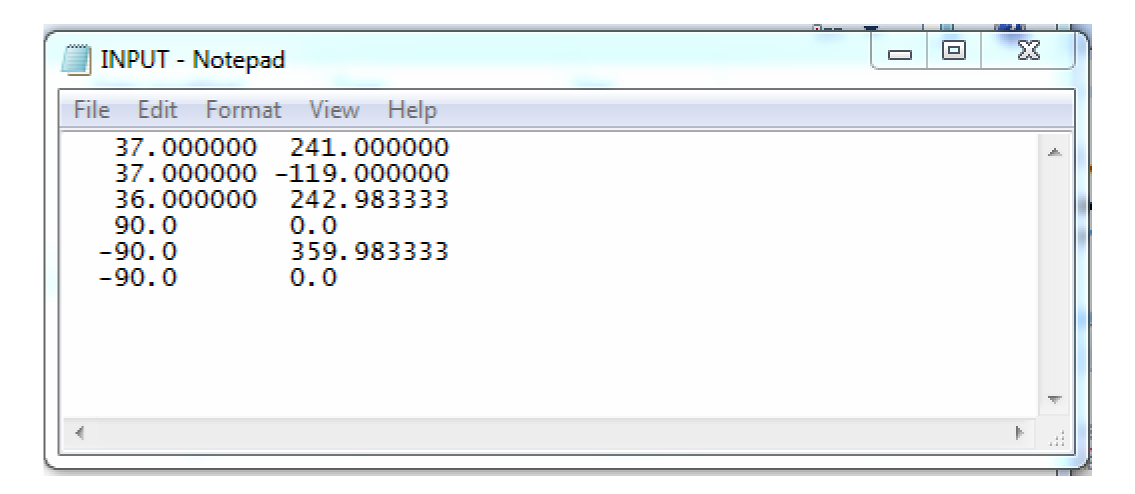
http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/OUTPUT2.DAT

و هذا الملف للتحقق من أن ملفات النموذج التي قمنا بتحميلها سليمة. بمعني أننا نحمل الملفات السابقة ثم نشغل run برنامج الحساب علي بيانات الملف الأساسي input.dat لنتأكد من أن نتائج البرنامج هي نفسها النتائج الموجودة في الملف output2.dat. فان لم تكن النتائج متطابقة فهذا يدل علي أن هناك خطأ معين قد حدث، وغالبا يكون أن الملفات التي قمنا بتحميلها لم تكتمل تماما (حدث انقطاع في الانترنت أثناء التحميل) ، وعلينا في هذه الحالة إعادة تحميل الملفات مرة أخري.

لابد من التأكد من حجم الملفات بعد تحميلها و إزالة الضغط عنها، فالملف الأساسي (كما في الصورة التالية) يبلغ حجمه ٢٣٦.٨ ميجابايت والملف الثاني يبلغ ١٣٩.١ ميجابايت بينما الملف التنفيذي للحساب فيبلغ ٦٩٣ كيلوبايت:

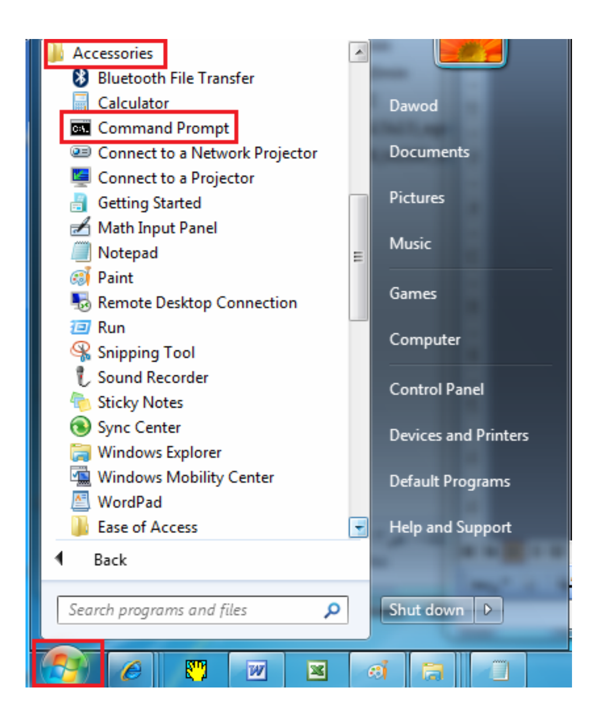


أما الملف النصي لقيم إحداثيات النقاط المطلوبة فيتكون من: كل سطر يتكون من دائرة العرض latitude بالدرجات ثم مسافة ثم خط الطول longitude بالدرجات:

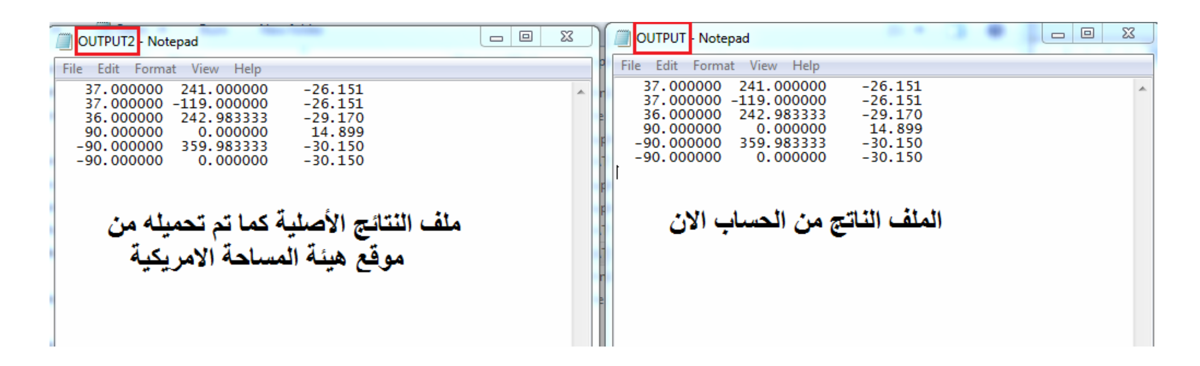


نبدأ أولا في التأكد من أن ملفات البرنامج تعمل بصورة سليمة وذلك عن طريق تنفيذ ملف الحساب علي الملف النصي الأساسي (بإحداثياته كما هي) لنري النتائج ثم نقارنها بالنتائج

المفترضـة للبرنـامج. يجـب أن تكـون جميـع الملفـات فـي نفـس المجلـد. ثـم نفتح نافـذة برنـامج command prompt من قائمة البرامج الملحقة accessories من قائمة أبدا start نظام الويندوز:

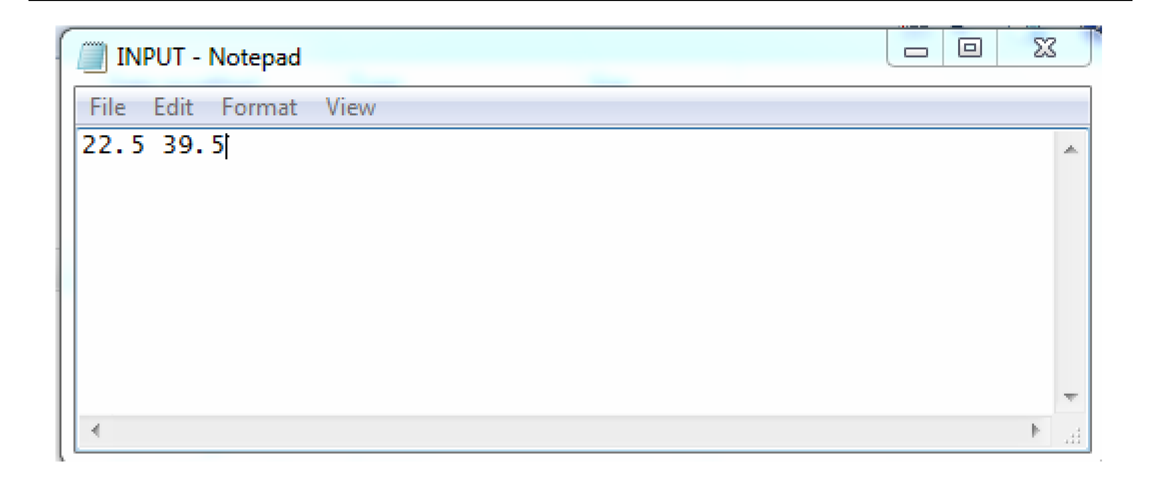


فـي نافـذة موجـه الأوامـر نتغيـر للمجلـد الموجـود بـه الملفـات ثـم نكتـب اسـم ملـف التنفيـذ hsynth_wgs98 ونضغط مفتاح Enter من لوحة مفاتيح الكمبيوتر. سيأخذ التنفيذ أقل من دقيقة (الملف النصي به إحداثيات ٦ نقاط فقط) ثم يظهر ملف النتائج output.dat. نفتح هذا الملف ونفتح أيضا ملف النتائج الأصلية الذي تم تحميله من موقع هيئة المساحة الأمريكية ونقارن نتائج كلا الملفين:



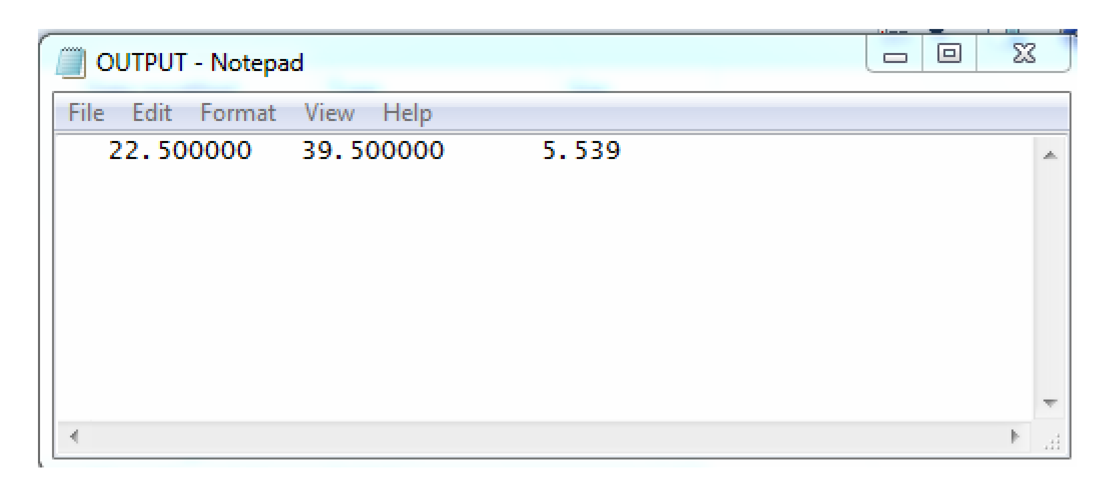
نجد أن النتائج متطابقة (كل سطر يتكون من: دائرة العرض ثم خط الطول ثم قيمة حيود الجيويد بالمتر)، مما يدل علي أن الملفات التي قمنا بتحميلها من الانترنت سليمة و كاملة.

الآن سـنغير الإحـداثيات الموجـودة داخـل ملـف البيانـات النصـية input.dat ونكتـب إحـداثيات النقاط التي نريد أن نحسب عندها قيمة حيود الجيويد من نموذج EGM2008. مثلا سنستخدم هنا نقطة واحدة فقط: دائرة العرض = ٢٢.٥ درجـة و خـط الطـول = ٣٩.٥ درجـة ونحفظ الملف:



برنامج hsynth_wgs98 يعتمد علي تنفيذ الحسابات لكل ما هو موجود في ملف input.dat في كل مرة يتم تشغيله بها، ويضع النتائج في ملف جديد أسمه output.dat. حيث أن الملف الأخير موجود (من الخطوة السابقة) فيجب أن نحذفه أو نغير أسمه حتى يستطيع البرنامج إنشاء ملف output.dat من جديد للنتائج الجديدة. إن لم نفعل ذلك سيعطي البرنامج خطأ error في شاشة موجه الأوامر command prompt ولن يتم تنفيذ حسابات الجيويد.

مرة أخري في نافذة موجه الأوامر نكتب اسم ملف التنفيذ hsynth_wgs98 ونضغط مفتاح Enter من لوحة مفاتيح الكمبيوتر. ثم يظهر ملف النتائج output.dat:



أي أن قيمة حيود الجيويد من نموذج EGM2008 تبلغ ٥.٥٣٩ متر عند دائرة العرض ٢٢.٥ وخط الطول ٣٩.٥ درجة.

(ب) شبكات الجيويد من هيئة المساحة الأمريكية:

في نفس صفحة هيئة المساحة الأمريكية يوجد خيار ثاني (بدلا من حساب قيمة الجيويد من القيم الأساسية لمعاملات النموذج عند كل نقطة يحددها المستخدم) يتمثل في شبكات grid لقيم حيود الجيويد علي مستوي العالم. توجد شبكتين الأولي شبكة كل ١'×١' (حوالي ٢×٢ كم) والثانية شبكة كل ٢.٥'×٢.٥' (حوالي ٥×٥ كم). وروابط الشبكتين بالترتيب في:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Small_Endian/Und_min1x1_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Small_Endian/Und_min2.5x2.5_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz

أما برنامج الاستنباط interpolation لحساب قيمة حيود الجيويد (من الشبكة الأولي ١'×١') فيمكن تحميله من الرابط:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/interp_1min.exe

وبرنامج الاستنباط interpolation لحساب قيمة حيود الجيويد (من الشبكة الثانية ٢.٥'×٢.٥') فيمكن تحميله من الرابط:

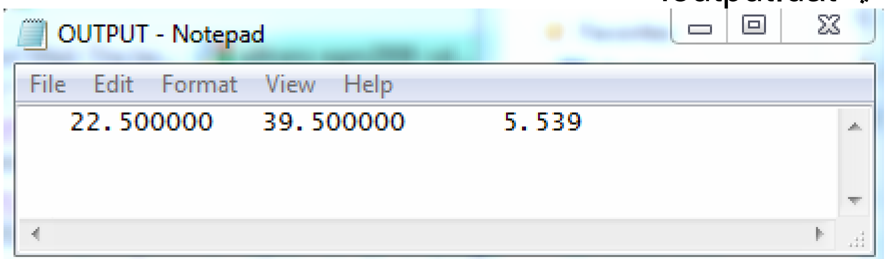
http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/interp_2p5min.exe

لتشغيل هذه الطريقة: نتأكد من أن ملف الشبكة (الثانية علي سبيل المثال) كامل ويبلغ حجمه بعد فك الضغط عنه ١٤٥.٨ ميجابايت:

Burn   New folder

Name	Date modified	Type	Size
alltransegm2008	٣٣/٠٨/١٣ ص ١١:١٣	WinZip File	7,007 KB
EGM2008_Setup	٣١/٠٣/٣٠ ص ١١:٥٧	Application	7,029 KB
EGM2008_to2190_TideFree	٣٩/٠٣/٣٠ م ٠٥:٣٠	File	236,851 KB
hsynth_WGS84	٣٣/٠٨/١٣ ص ١٠:٤٥	Application	693 KB
INPUT gomaa	٣٣/٠٨/١٣ ص ١١:٤٥	DAT File	1 KB
INPUT original 2_5	٣٣/٠٨/١٣ م ١٢:٠٤	DAT File	1 KB
INPUT	٣٣/٠٨/١٣ ص ١٠:٤٤	DAT File	1 KB
interp_1min	٣٣/٠٨/١٣ ص ١٠:٤٤	Application	421 KB
interp_2p5min	٣٣/٠٨/١٣ ص ١١:٠٦	Application	421 KB
OUTPUT 3	٣٣/٠٨/١٣ ص ١١:٥١	DAT File	1 KB
OUTPUT original	٣٣/٠٨/١٣ ص ١١:٣٣	DAT File	1 KB
OUTPUT2	٣٣/٠٨/١٣ ص ١٠:٤٤	DAT File	1 KB
Und_min2.5x2.5_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE	٣٩/٠٨/٣٠ ص ١٢:٤١	5_EGM2008_ISW=...	145,868 KB
Zeta-to-N_to2160_egm2008	٣٩/٠٦/٠٩ ص ١٠:١١	File	139,159 KB

مرة أخري نغير أسم ملف النتائج output.dat إلي أي أسم آخر (أو نحذفه) ثم من نافذة موجه الأوامر prompt command نكتب اسم ملف الاستنباط الخاص بالشبكة الثانية interp_2p5min ثم نضغط مفتاح Enter (لم نغير أي شئ في ملف البيانات النصي input.dat أي أن التنفيذ سيتم علي نفس النقطة السابقة). بعد أقل من دقيقة سيظهر ملف النتائج الجديد output.dat:



قيمة حيود الجيويد (٥.٥٣٩ متر) هي نفس القيمة السابقة تماما.

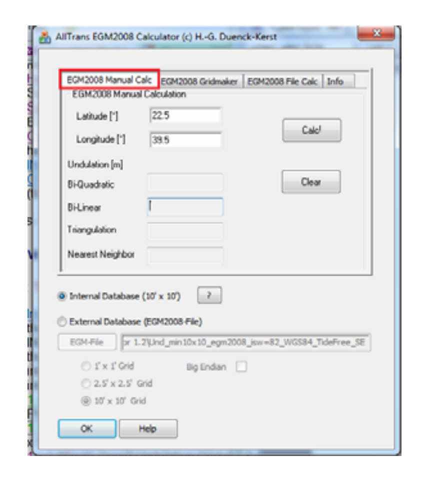
(ج) برنامج Altrans لحساب حيود الجيويد EGM2008:

برنامج صغير الحجم (٧ ميجابايت فقط) أعدة مهندس ألماني أسمه Hans-Gerd Duenck-Kerst لاستنباط قيمة حيود الجيويد من النموذج العالمي EGM2008 لكن بصورة أبسط وأسرع من برنامج هيئة المساحة الأمريكية. يمكن تحميل هذا البرنامج من عدة مواقع علي الانترنت منهم علي سبيل المثال:

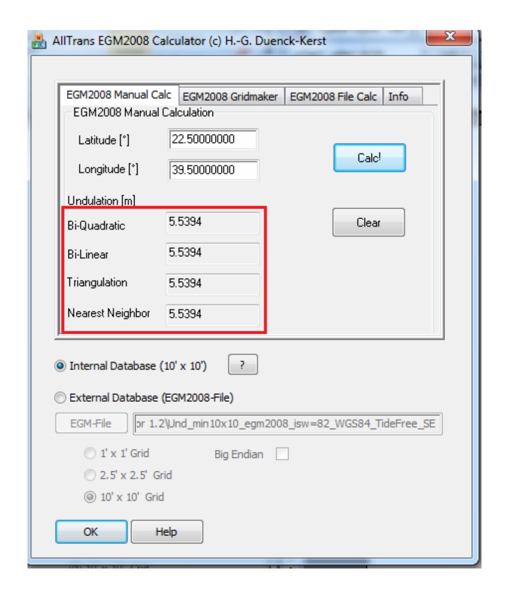
http://www.allsat.de/download/Software/ALLTRANS/alltranseg m2008.zip

بعد تحميل الملف وفك الضغط عنه نقوم بتثبيته setup علي الكمبيوتر (برنامج مجاني لا يحتاج كلمة سر serial number). ثم نبدأ تشغيله (الإصدار ١.٢ في المثال التالي):

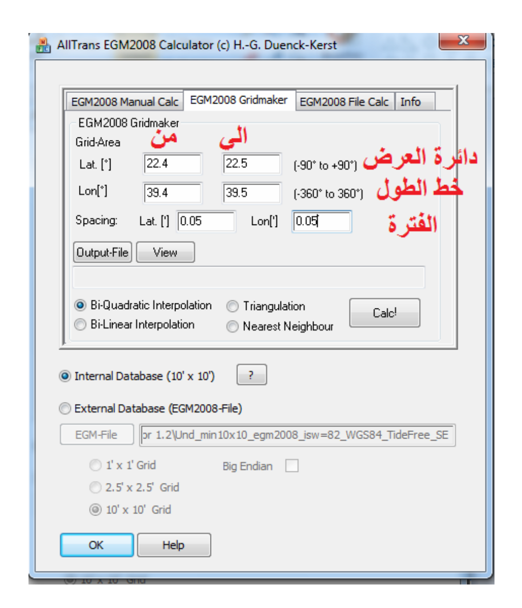
في الحالة الأولي EGM2008 Manual Cak سيتم حساب قيمة حيود الجيويد عند نقطة واحدة بمجرد إدخال إحداثياتها للشاشة (سنستخدم نفس النقطة السابقة حيث دائرة العرض = ٢٢.٥ و خط الطول = ٣٩.٥) ثم نضغط أيقونة الحساب Calc:



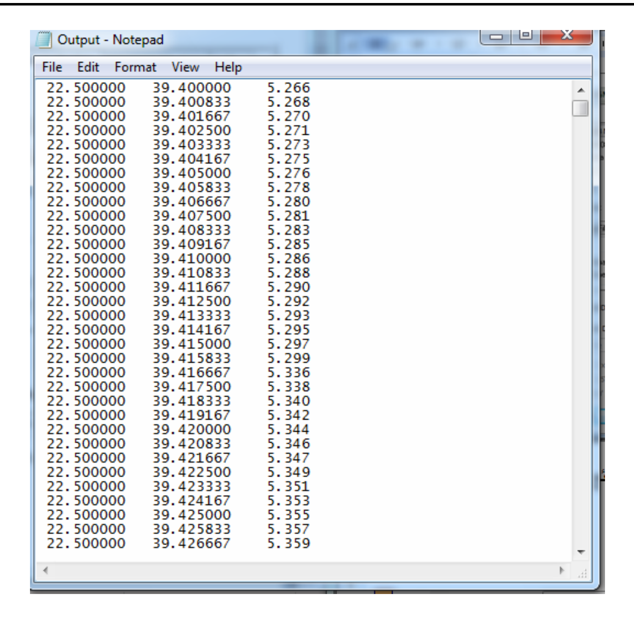
ستظهر ٤ قيم لحيود الجيويد EGM2008 لهذه النقطة بسبب أن البرنامج يقوم بعملية الاستنباط بأربعة طرق رياضية مختلفة. لكن القيم الأربعة طريقة متساوية وحيود الجيويد = ٥.٥٣٩ متر (نفس نتيجة برنامج هيئة المساحة الأمريكية السابق).



أما الحالة الثانية لهذا البرنامج EGM2008 Grid maker فهي لحساب حيود الجيويد لشبكة (وليس نقطة واحدة). مثلا – في الشكل التالي – سنحسب الجيويد من دائرة عرض ٢٢.٤ إلي دائرة عرض ٢٢.٥ ومن خط طول ٣٩.٤ إلي خط طول ٣٩.٥ بفترة تبلغ ٠.٠٥ في دوائر العرض و ٠.٠٥ في خطوط الطول:



نضغط أيقونة الحساب Calc ، ثم نضغط أيقونة عرض النتائج View لنفتح ملف النتائج الذي سيكون كالشكل التالي:


Output - Notepad

File Edit Format View Help

22.500000	39.400000	5.266
22.500000	39.400833	5.268
22.500000	39.401667	5.270
22.500000	39.402500	5.271
22.500000	39.403333	5.273
22.500000	39.404167	5.275
22.500000	39.405000	5.276
22.500000	39.405833	5.278
22.500000	39.406667	5.280
22.500000	39.407500	5.281
22.500000	39.408333	5.283
22.500000	39.409167	5.285
22.500000	39.410000	5.286
22.500000	39.410833	5.288
22.500000	39.411667	5.290
22.500000	39.412500	5.292
22.500000	39.413333	5.293
22.500000	39.414167	5.295
22.500000	39.415000	5.297
22.500000	39.415833	5.299
22.500000	39.416667	5.336
22.500000	39.417500	5.338
22.500000	39.418333	5.340
22.500000	39.419167	5.342
22.500000	39.420000	5.344
22.500000	39.420833	5.346
22.500000	39.421667	5.347
22.500000	39.422500	5.349
22.500000	39.423333	5.351
22.500000	39.424167	5.353
22.500000	39.425000	5.355
22.500000	39.425833	5.357
22.500000	39.426667	5.359

العمود الأول لدائرة العرض و الثاني لخطوط الطول والثالث بقيمة حيود الجيويد EGM2008 لمنطقة الشبكة المطلوبة.

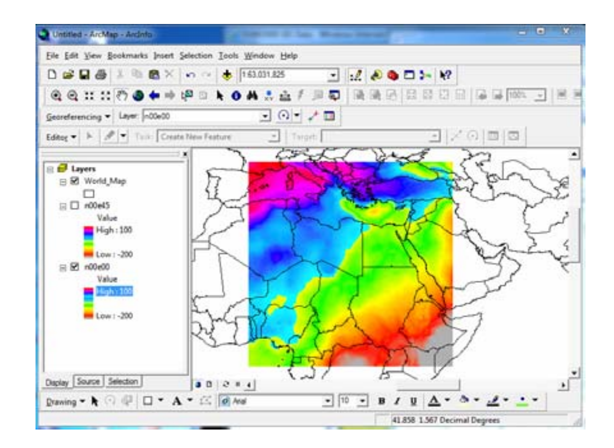
أما الحالة الثالثة للبرنامج EGM2008 File Calc فهي خاصة بإجراء الحسابات علي نقاط موجود إحداثياتها في ملف نصي.

(د) شبكة حيود الجيويد EGM2008 خاصة ببرامج نظم المعلومات الجغرافية:

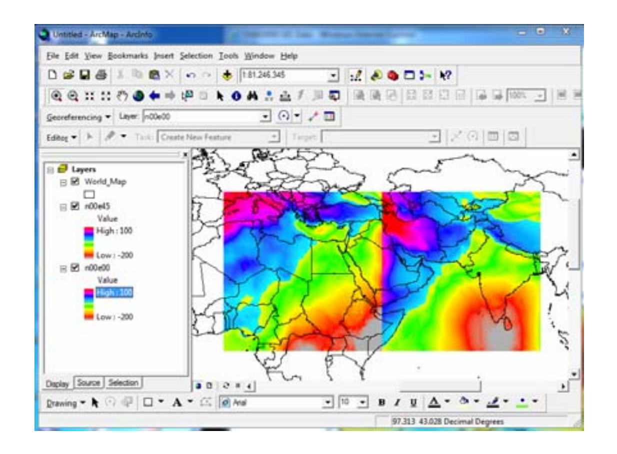
تتيح هيئة المساحة الأمريكية بيانات نموذج الجيويد EGM2008 في صورة شبكات تتناسب مع برامج نظم المعلومات الجغرافية. تم تقسيم العالم إلي عدة ملفات كلا ملف يغطي ٤٥×٤٥ درجة من دوائر العرض و خطوط الطول في الرابط:

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_gis.html

مثلا نختار الملف من صفر إلي ٤٥ في دوائر العرض و خطوط الطول (يغطي مصر و الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية) ونقوم بتحميله (حجمه ٣.٤ ميجابايت فقط). وبعد فك الضغط عنه سينتج ملف شبكي raster (كما لو كان مرئية فضائية) يمكن فتحه مباشرة داخل برنامج Arc Map لنظم المعلومات الجغرافية:



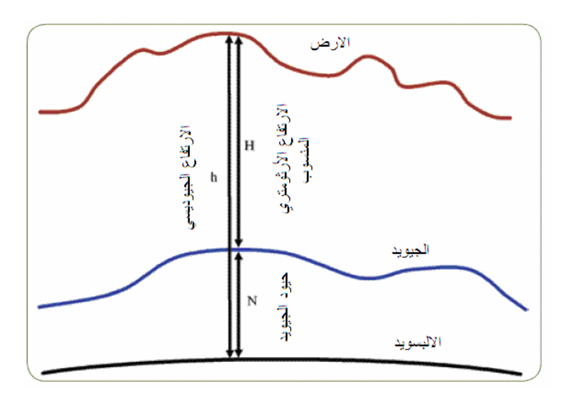
ثم يمكن التعامل معه (لمستخدمي نظم المعلومات الجغرافية) من خلال إنتاج خريطة كنتورية لسطح الجيويد أو اقتطاع جزء لمنطقة محدده أو استنباط قيمة حيود الجيويد عند مجموعة من النقاط ..... الخ. أيضا يمكن تحميل ملف آخر من ملفات شبكات EGM2008 والتعامل معه بنفس الطريقة داخل برنامج Arc Map لدمج كلا الملفين (المرئيتين) في ملف واحد مثلا لكي يغطي المملكة العربية السعودية كلها:



٧-٤ الجي بي أس و الجيويد

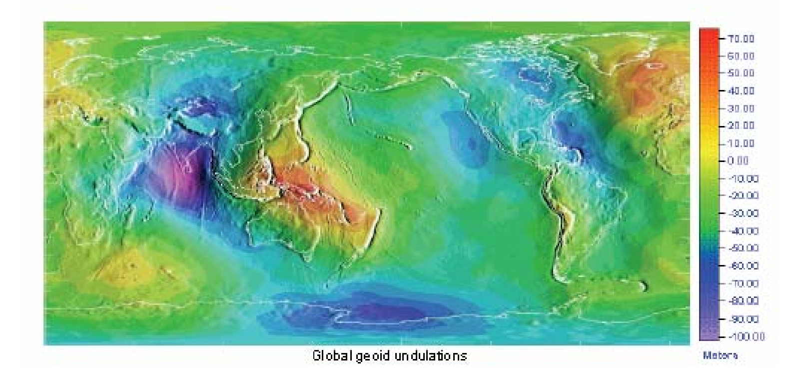
تعتمد أرصاد الجي بي أس وأيضا الإحداثيات الناتجة عن هذه التقنية علي المجسم أو الاليبسويد العالمي WGS84 ، أي أن الارتفاع الناتج من الجي بي أس يكون مقاسا من سطح هذا الاليبسويد ولذلك يسمي الارتفاع الاليبسويدي Ellipsoidal Height أو الارتفاع الجيوديسي Geodetic Height . بينما في التطبيقات المساحية و الخرائطية فأن الارتفاع المستخدم – أي المنسوب – يكون مقاسا من منسوب متوسط سطح البحر MSL أو الذي يمثل شكل الجيويد ، ويسمي الارتفاع الأرثومتري Orthometric Height. والفرق بين سطح الاليبسويد و سطح الجيويد يسمي حيود الجيويد Geoid Undulation أو ارتفاع الجيويد Geoidal Height (شكل ١٥-٢٢) ، وهو فرق مؤثر لا يمكن إهماله حيث قد تصل قيمته إلي ١٠٠ متر في بعض المناطق علي الأرض. كمثال في مصر يتراوح حيود الجيويد بين حوالي ٩ متر عند الحدود المصرية السودانية في الجنوب و حوالي ٢٢ متر عند البحر الأبيض المتوسط في الشمال. ولكي يتم تحويل الارتفاع الجيوديسي لنقطة ما (لنرمز له بالرمز h) إلي منسوبها المقابل (لنسميه H) فيجب معرفة قيمة حيود الجيويد (N) عند هذه النقطة طبقا للمعادلة:

$$h = H + N \qquad (7\text{-}12)$$



شكل (٧-٨) العلاقة بين أنواع الارتفاعات

لذلك فمن المهم عند استخدام نظام الجي بي أس في المشروعات المساحية أن نحصل علي نموذج للجيويد حتى يمكن تحويل ارتفاعات الجي بي أس إلي مناسيب و بدقة تناسب العمل الهندسي. توجد طرق عديدة لحساب قيمة حيود الجيويد – أي نمذجة الجيويد Geoid Modeling - تعتمد علي عدة أنواع من القياسات الجيوديسية مثل: الأرصاد الفلكية ، أرصاد الجاذبية الأرضية ، أرصاد الجي بي أس مع الميزانيات ، طرق التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض باستخدام أرصاد مختلفة النوع Heterogeneous Data.



شكل (٧-٩) الفروق بين الجيويد و الاليبسويد في العالم

٧-٥ نمذجة الجيويد

٧-٥-١ نمذجة الجيويد من أرصاد الجاذبية الأرضية:

يتم قياس قيمة الجاذبية الأرضية Measured Gravity علي سطح الأرض باستخدام أجهزة قياس الجاذبية الأرضية Gravimeters ، كما يمكن أيضا باستخدام خصائص الاليبسويد حساب قيمة الجاذبية النظرية Theoretical or Normal Gravity علي سطح الاليبسويد. الفرق بين قيمة الجاذبية المقاسة و قيمة الجاذبية النظرية المحسوبة - يسمي شذوذ الجاذبية Gravity Anomalies - يعبر بصورة معينة عن الفرق بين كلا من الاليبسويد و الجيويد.

المعادلة (٧-٨) تتيح حساب قيم حيود الجيويد N من بيانات شذوذ الجاذبية الأرضية Δg. لكن قياسات الجاذبية الأرضية في منطقة محلية معينة (دولة مثلا) لا تكون بكثافة عالية تسمح

بحساب قيم دقيقة لحيود الجيويد كما أن المعادلة المذكورة تتطلب معرفة قيم الجاذبية الأرضية في كافة أنحاء الأرض. لذلك يتم تقسيم قيمة حيود الجيويد إلي ٣ مركبات:

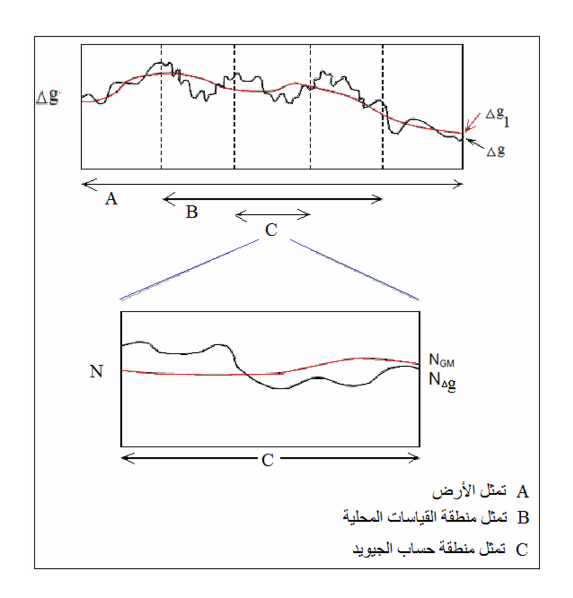
$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_H \tag{7-13}$$

حيث:

N_{GM} تأثير نموذج الجيويد العالمي

$N_{\Delta g}$ تأثير قياسات الجاذبية المحلية

N_H تأثير تغير التضاريس المحلية



شكل (٧-١٠) مركبات الجيويد في منطقة محلية

يتم حساب كل مركبة (من هذه المركبات الثلاثة) كالتالي:

$$N_{GM} = R \sum_{n=2}^{n} \sum_{m=0}^{n} \bar{P}nm(\cos\theta)(\Delta\bar{C}_{nm}\cos m\lambda + \Delta\bar{S}_{nm}\sin m\lambda) \tag{7-14}$$

$$N_{\Delta g} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma_0} St(\psi)\Delta g_2 \, d\sigma \tag{7-15}$$

where, $\Delta g_2 = \Delta g - \Delta g_1$

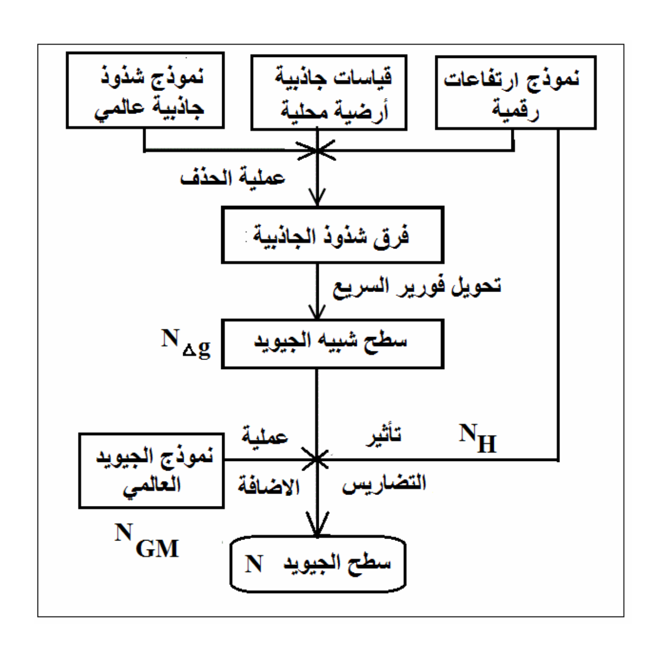
$$\Delta g_1 = \gamma \sum_{n=2}^{n} \sum_{m=0}^{n} \bar{P}nm(\cos\theta)(n-1)(\Delta\bar{C}_{nm}\cos m\lambda + \Delta\bar{S}_{nm}\sin m\lambda)$$

$$N_H = \left[\left(\frac{g-\gamma}{\gamma}\right)\right] H \tag{7-16}$$

لإتمام هذه العملية يتم حساب شذوذ الجاذبية الناتجة من قياسات الجاذبية الأرضية في المنطقة المحلية (الدولة) ثم نطرح منها تأثير شذوذ الجاذبية الناتجة من قياسات الجاذبية الأرضية العالمية، والفرق يتم منه حساب قيمة $N_{\Delta g}$. ثم يتم حساب تأثير الجاذبية العالمية علي قيم حيود الجيويد N_{GM}، ثم باستخدام نموذج ارتفاعات رقمية DEM للمنطقة المحلية يتم حساب تأثير التضاريس علي حيود الجيويد N_H. وفي آخر خطوة يتم جمع قيم المركبات الثلاثة للحصول علي قيمة حيود الجيويد N. لذلك تسمي هذه العملية باسم الحذف/الحساب/الإضافة أو Remove-Compute-Restore. تتم الحسابات الرياضية بطريقة تسمي تحويل فورير السريع أو Fast Fourier Transform أو اختصارا FFT لكي تحول عملية التكامل المزدوج (في المعادلة ٧-٨) إلي عملية جمع مزدوج كما سبق الذكر. كما توجد طريقة أخري لحساب حيود الجيويد تسمي collocation (أنظر المراجع).

أي أنه لاستنتاج سطح الجيويد في منطقة محلية يلزمنا:

١. قياسات جاذبية أرضية بكثافة مناسبة لمساحة المنطقة
٢. نموذج جاذبية أرضية عالمي
٣. نموذج جيويد عالمي
٤. نموذج ارتفاعات رقمية للمنطقة المحلية
٥. برنامج حساب software متخصص (مثل برنامج gravsoft)



شكل (٧-١١) حساب الجيويد من الجاذبية الأرضية

<u>٧-٥-٢ نمذجة الجيويد من أرصاد الجي بي أس و الميزانيات:</u>

يعد هذا الأسلوب (يسمي الطريقة الهندسية) هو الأمثل للمساحة بالجي بي أس وخاصة للمناطق الصغيرة (منطقة تغطي مساحة من ١٠ إلي ٢٠ كيلومتر مربع). يتم تنفيذ قياسات جي بي أس عند مجموعة من النقاط المعلوم منسوبها (نقاط روبيرات أو BM) ، وبالتالي يمكن حساب قيمة حيود الجيويد عند هذه النقاط باستخدام المعادلة (٧-١٢).

في أبسط الصور يمكن باستخدام نقطة واحدة فقط معرفة الفرق بين سطحي الاليبسويد و الجيويد، إلا أن رصد جي بي أس عند ٣ روبيرات يعد وضعا أفضل بالتأكيد. وجود ٣ نقاط معلوم لهم كلا من h و H سيمكننا من حساب ٣ معاملات (الميل tilt في اتجاه الشمال ، الميل في اتجاه الشرق ، الفرق المتوسط) لوصف الفروق بين كلا السطحين. أي أن الجيويد يتم تمثيله من خلال سطح أو مستوي مائل tilted plane . وبعد ذلك يمكن استخدام هذا النموذج أو هذا المستوي لكي نحول ارتفاع الجي بي أس لأي نقطة جديدة مرصودة إلي منسوبها. وبالطبع يمكن استخدام أكثر من ٣ نقاط (معلوم عندها h و H) وذلك للحصول علي مصداقية أكثر more reliability لنتائج المستوي المائل حيث أن استخدم ٣ نقاط معلومة فقط يعطي ٣ معادلات مطلوب حلهم في ٣ قيم مجهولة أي – رياضيا و إحصائيا - لا يوجد أي تحقيق check للنتائج ، بينما استخدام أكثر من ٣ نقاط سيعطي عدد معادلات أكبر من عدد المجاهيل مما سينتج عنه وجود تحقيق ومؤشرات إحصائية لجودة النتائج المحسوبة. أيضا يمكن استخدام نماذج رياضية أكثر دقة (من نموذج السطح المائل) مثل دالة ذات الحدود polynomials بفرض وجود عدد أكبر من النقاط المعلومة (معلوم لها h و H).

مثال:

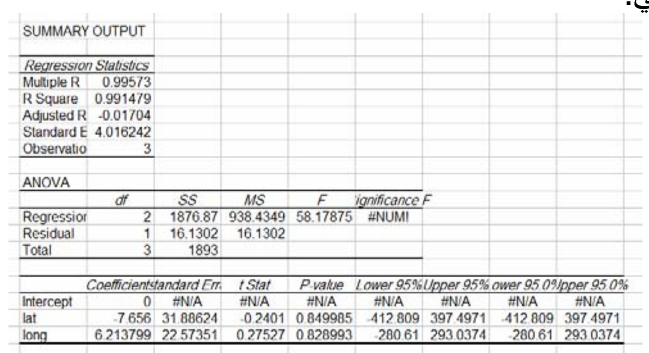
إذا كان لدينا البيانات (الافتراضية) التالية لعدد ٣ نقاط:

خط الطول	دائرة العرض	الارتفاع الجيوديسي h	المنسوب H	حيود الجيويد N=h-H
٢٢.٣	٣١.٤	١٠٠	٧٨	٢٢
٢٢.٢	٣١.٥	١٢٠	٩٥	٢٥
٢٢.٤	٣١.٦	١٤٠	١١٢	٢٨

نستخدم أداه الانحدار regression من أداه تحليل البيانات Data Analysis في برنامج الإكسل:



لتكون نتائجها كالتالي:



SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.99573
R Square	0.991479
Adjusted R	-0.01704
Standard E	4.016242
Observatio	3

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regressior	2	1876.87	938.4349	58.17875	#NUM!
Residual	1	16.1302	16.1302		
Total	3	1893			

	Coefficient	standard Err	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	ower 95.0%	Jpper 95.0%
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
lat	-7.656	31.88624	-0.2401	0.849985	-412.809	397.4971	-412.809	397.4971
long	6.213799	22.57351	0.27527	0.828993	-280.61	293.0374	-280.61	293.0374

أي أن:

N = -7.656 Latitude + 6.214 Longitude

أي أن الجيويد (في هذا المثال الافتراضي) ينقص في اتجاه دوائر العرض بقيمة ٧.٦٥٦ متر لكل درجة بينما يزيد في اتجاه خطوط الطول بقيمة ٦.٢١٤ متر لكل درجة.

لتحديد دقة هذه المعادلة (في تمثيل سطح الجيويد) يجب اختبارها عند نقطة معلومة، أي نقطة معلوم لها الإحداثيات و الارتفاع الجيوديسي و المنسوب. نحسب قيمة حيود الجيويد الحقيقي لهذه النقطة (من بياناتها المعلومة) ثم نحسب قيمة حيود الجيويد من المعادلة، والفرق بين القيمتين يعبر عن دقة المعادلة ذاتها.

مثلا إذا كان لدينا نقطة بإحداثيات ٢٢.٣٥ ، ٣١.٤٥ ومعلوم عندها الارتفاع الجيوديسي ١٢٥ متر والمنسوب ١٠٠ متر: حيود الجيويد المعلوم (أو الحقيقي) = ١٢٥ – ١٠٠ = ٢٥ متر. ثم نستخدم معادلة الانحدار المستنبطة في حساب قيمة حيود الجيويد عند هذه النقطة N:

N = (-7.656 x 22.35) + (6.214 x 31.45) = 24.319 m

قيمة الخطأ (دقة معادلة الجيويد) = ٢٥ – ٢٤.٣١٩ = ٠.٦٨ متر

بعد ذلك يمكننا استخدام المعادلة في حساب قيمة حيود الجيويد عند أي نقطة جي بي أس (معلوم لها الارتفاع الجيوديسي) ومن ثم حساب منسوبها أيضا. فإذا كان لدينا نقطة (داخل حدود منطقة العمل أو منطقة النقاط الثلاثة المعلومة) بإحداثيات: ٢٢.٢٥ ، ٣١.٥٥ ومعلوم عندها الارتفاع الجيوديسي ١١٧ متر فنستخدم معادلة الانحدار المستنبطة في حساب قيمة حيود الجيويد عند هذه النقطة N ومن ثم يمكن حساب منسوبها:

N = (-7.656 x 22.25) + (6.214 x 31.55) = 25.706 m

H = h – N = 117 – 25.706 = 91.294 m

لكن هذه الطريقة الهندسية لها أيضا بعض العيوب مثل:

- النموذج الرياضي المستنبط يصلح فقط للمنطقة المحصورة بالنقاط المعلومة (محاولة استنباط extrapolation قيمة N خارج المنطقة لن تكون جيدة علي الإطلاق).
- نموذج المستوي المائل – نموذج بسيط رياضيا – ويصلح فقط لمناطق صغيرة (شكل وتغير الجيويد أكثر تعقيدا من محاولة وصفه بسطح مائل).
- عمليا قد يكون من الصعب إيجاد نقاط معلومة المنسوب (روبيرات أو BM) في المنطقة المطلوب العمل فيها.

أما في حالة وجود عدد أكبر من النقاط المعلوم لها كلا من H , h فمن الأفضل استخدام معادلة رياضية من الدرجة الثانية للوصول لدقة أفضل في تمثيل تغيرات سطح الجيويد في هذه المنطقة. أيضا يمكن استخدام برنامج السيرفر Surfer لاستنباط سطح جيويد بطريقة Kriging وهي أدق من طرق الاستنباط interpolation البسيطة.

أيضا من الممكن الجمع بين مميزات نموذج الجيويد العالمي EGM2008 (حيث أنه مجاني و يغطي العالم كله) مع مميزات الأرصاد المحلية في منطقة معينة في محاولة تحديد سطح الجيويد. هذا الأسلوب توصي به هيئة المساحة الأمريكية NGS (أنظر المراجع) في الأعمال المساحية التي تتم في مناطق محلية صغيرة (أقل من ٥٠×٥٠ كيلومتر)، كما ثبت نجاحه في عدة بحوث علمية حول العالم. تعتمد الفكرة الرئيسية لهذا الأسلوب علي محاولة اكتشاف أخطاء EGM2008 وزيادة دقته في منطقة محلية من خلال تطبيعه أو تعديله بقياسات محلية:

- معرفة قيمة الجيويد الحقيقية (المقاسة) للمنطقة المحلية من خلال عدد من النقاط المعلوم لها كلا من الارتفاع الجيوديسي و المنسوب (نقاط روبيرات BM تم رصدها بالجي بي أس أو نقاط ثوابت أرضية جي بي أس تم رصد الميزانية لها).
- استنباط قيمة الجيويد من EGM2008 عند هذه النقاط معلومة الإحداثيات (بأي برنامج من برامج EGM2008 السابق شرحها).
- حساب قيمة فرق الجيويد ΔN عند كل نقطة من هذه النقاط = قيمة الجيويد المقاس – قيمة الجيويد المحسوب من EGM2008. وهذه القيم تعبر عن دقة النموذج العالمي عند هذه المنطقة المحلية.
- تمثيل هذه الفروق ΔN بمعادلة رياضية (ببرنامج الإكسل مثلا كما سبق) أو كسطح (ببرنامج السيرفر) لإيجاد صيغة رياضية تعبر عن التغير في ΔN علي امتداد منطقة الدراسة (المنطقة المحددة بمواقع القياسات المعلومة).
- عند أي نقطة مطلوب حساب قيمة الجيويد N عندها نحسب أولا قيمة الجيويد الناتج من النموذج العالمي EGM2008 ثم نضيف إليه قيمة تصحيح ΔN في هذا الموقع (إحداثيات هذه النقطة).

قام المؤلف مع زملاء له بتطبيق هذا الأسلوب في منطقة شمال وادي النيل في مصر (من أسيوط جنوبا حتى رشيد و دمياط علي البحر الأبيض المتوسط شمالا) حيث توافر عدد ٣٠٥ نقطة معلوم لها كلا من الارتفاع الجيوديسي h و الارتفاع الأرثومتري H. في أولي الخطوات تم حساب قيمة الجيويد المقاس $N = h - H$ عند كل نقطة من هذه النقاط ووجد أنها تتراوح بين ١٢.٠ و ١٦.٨٤ متر. في الخطوة الثانية تم استنباط قيمة الجيويد من النموذج العالمي EGM2008 عند كل نقطة من هذه النقاط (بمعلومية خط الطول و دائرة العرض لكل نقطة)، ووجد أن هذه القيم تتراوح بين ١١.٩١ و ١٧.٤٠ متر. بطرح قيمة الجيويد الحقيقي من الجيويد العالمي عند كل نقطة ثم حساب قيمة الانحراف المعياري لهذه الفروقات ΔN وجد أنه يبلغ ± ٠.٢٣ متر (هذه دقة النموذج العالمي). في الخطوة الثالثة تم استنباط معادلة انحدار من الدرجة الثانية (باستخدام برنامج الإكسل) لوصف التغيرات المكانية لفروق الجيويد ΔN وكانت المعادلة المستنتجة كالتالي:

$$\Delta N = 72.70656003 - 0.585861292\ \varphi - 4.214098131\ \lambda + 0.009003071\ \varphi^2 + 0.069825898\ \lambda^2$$

لاختبار دقة هذه المعادلة:

- من المعادلة نحسب قيمة تغير الجيويد ΔN عند نقاط تحكم control points معلومة (الإحداثيات و الجيويد المقاس).
- نستنبط قيمة جيويد EGM2008 عند هذه النقاط

- نضيق قيمة جيويد EGM2008 الي قيمة ΔN الناتجة من المعادلة لنحسب القيمة المعدلة أو المصححة لنموذج EGM2008
- نقارن هذه القيمة المعدلة بقيمة الجيويد المقاس (N=h-H) عند كل نقطة

وجد أن قيمة الانحراف المعياري لهذه <u>الفروقات المعدلة</u> يبلغ ± ٠.١٧ متر ، أي أن دقة النموذج العالمي EGM2008 بعد <u>تطعيمه بقياسات أرضية محلية</u> قد زادت من ± ٠.٢٣ متر إلي ± ٠.١٧ متر. وبالتالي فأن استخدام هذا النموذج العالمي المعدل يتيح لنا حساب قيمة منسوب أي نقطة (داخل منطقة الدراسة) إذا عرفنا قيمة ارتفاعها الجيوديسي - من أرصاد الجي بي أس - بدقة ١٧ سنتيمتر.

<u>تجدر الإشارة إلي أن دقة نماذج الجيويد لا تغني – حتى الآن – عن أسلوب الميزانية الأرضية الدقيقة خاصة في الأعمال الهندسية و المنشئات والتي تتطلب دقة سنتيمترات في حساب قيمة المنسوب.</u> لكن علي الجانب الآخر فهناك العديد من المشروعات التي لا تتطلب هذه الدقة العالية ومن ثم يمكن استخدام نماذج الجيويد في حساب المناسيب فبهذا ستنخفض تكاليف الأعمال الحقلية المساحية مما يخفض من التكلفة الاقتصادية للمشروع ككل.

الفصل الثامن

نظرية الأخطاء

يعتمد علم المساحة الجيوديسية في المقام الأول علي الأرصاد (القياسات) والتي مهما بلغت دقة قياسها فلن تعطي نتائج صحيحة بصورة مطلقة بل سيكون بها خطأ مهما كان صغيرا جدا. فعلي سبيل المثال إذا قام راصد ذو خبرة كبيرة مستخدما جهاز ثيودليت دقيق بقياس زاوية ما عدد من المرات فلن تكون قيمة الزاوية واحدة في كل هذه القياسات. لذلك من الضروري علي دارس الجيوديسيا أن يلم بمصادر الأخطاء و أنواعها و كيفية التغلب عليها – إن أمكن – أو كيفية التعامل معها حسابيا للوصول إلي قيمة أقرب للصحة للكمية التي يتم قياسها.

٨-١ مصادر و أنواع الأخطاء

الخطأ هو مقدار الفرق بين القيمة المقاسة (المرصودة) والقيمة الحقيقية لها. لكن من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – أن نعرف القيمة الحقيقية لأي قياس، ولذلك فنستعيض عنه بالقيمة الأكثر احتمالا له.

تحدث الأخطاء نتيجة ثلاثة أسباب أو مصادر هي:

(أ) أخطاء إلية:

أخطاء ناتجة عن عيوب الأجهزة المستخدمة في القياس والتي يمكن التغلب عليها من خلال ضبط الجهاز ضبط دائم و معايرته كل فترة و إتباع خطة معينة في الرصد (مثل الرصد متيامن و متياسر بجهاز الثيودليت) وتصحيح أو ضبط الأرصاد من خلال معادلات رياضية (مثلا ضبط زوايا المثلث بحيث يساوي مجموع زواياه ١٨٠ درجة).

(ب) أخطاء شخصية:

أخطاء ترجع للراصد ذاته مثل عدم اعتنائه بعملية الرصد بصورة سليمة أو قلة خبرته العملية.

(ج) أخطاء طبيعية:

أخطاء ترجع أسبابها لتغير الظروف الطبيعية أثناء عملية الرصد مثل تغير تأثير الانكسار الجوي علي الميزان في فترات اليوم الواحد.

تنقسم أنواع الأخطاء إلي أربعة أنواع تشمل:

(١) الغلط أو الخطأ الجسيم Mistake or Blunder or Gross Error:

هو قيمة شاذة تجعل القيم المرصودة غير متجانسة مع بقية الأرصاد المماثلة، وينتج عن قلة الخبرة أو الإهمال في القياس. مثلا عند قياس زاوية عدة مرات فتكتب قيمتها في احدي

المرات ١٥٣ درجة بدلا من ١٣٥ درجة، أو التوجيه علي نقطة "أ" وتسجيل قراءة الزاوية علي أنها لنقطة "ب". فإذا تم قياس مسافة عدة مرات كالتالي: ٥٦.٣٢، ٥٦.٣٨، ٥٦.٤٠، ٥٧.٣٨، ٥٦.٣٥، ٥٦.٣٩ متر، فيمكن بالملاحظة اكتشاف أن القيمة ٥٧.٣٨ تعد غلط أو خطأ جسيم حيث أن باقي القيم متقاربة مع بعضها في حدود سنتيمترات بينما هذه القيمة تبعد عنهم بمتر كامل تقريبا. يمكن اكتشاف الغلط من خلال الحرص في المراجعة والتحقق من كل خطوة من خطوات الرصد ثم استبعاده نهائيا من عملية الحسابات المساحية. تجدر الإشارة إلي أن الغلط هو أخطر أنواع الأخطاء وأشدها تأثيرا علي دقة العمل في حالة عدم اكتشافه.

(٢) الخطأ التراكمي Accumulative Error:

هو خطأ صغير القيمة نسبيا (عند مقارنته بقيمة الغلط) يتكرر بنفس المقدار و الإشارة إذا تكرر القياس تحت نفس الظروف وباستخدام نفس الأجهزة ونفس الراصدين. الخطأ المنتظم خطا تراكمي بمعني أن قيمته تزيد كلما تكرر القياس، فمثلا إذا كان هناك خطأ ١٠ سنتيمتر في شريط طوله ٢٠ متر وأستخدمنا هذا الشريط في قياس مسافة تبلغ ١٠٠ متر فأن خطا منتظم قيمته ١٠ سنتيمتر سيكون في كل طرحة (رصدة أو جزء من المسافة، أي في كل ٢٠ متر مقاسه) مما سيجعل الخطأ المنتظم سيبلغ ١٠ سنتيمتر × ٥ مرات قياس = ٥٠ سنتيمتر في نهاية هذه المسافة. يتم التغلب علي الخطأ المنتظم إما بإضافة التصحيحات اللازمة له أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد ذاتها، ويجب أن يتم ذلك قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٣) الخطأ المنتظم Systematic Error:

يشبه الخطأ المنتظم الخطأ التراكمي في طبيعته إلا أنه قد يكون تراكميا بنفس المقدار والإشارة وقد يختلف في قيمته و إشارته من أجزاء العمل الحقلي. كمثال تأثير عوامل الطقس (الحرارة والرطوبة) علي قياسات الزوايا و المسافات المقاسة الكترونيا سواء بأجهزة EDM أو المحطات الشاملة، ولذلك توجد معادلات رياضية لحساب قيمة هذا الخطأ المنتظم بناءا علي قيم درجات الحرارة و الرطوبة المقاسة أثناء عملية الرصد الميداني. يتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة من خلال إجراء التصحيحات اللازمة أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد واختيار أنسب ظروف القياس. أيضا يجب أن يتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة و تصحيحها (مثل الأخطاء التراكمية) قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٤) الخطأ العشوائي أو العارض Random or Accidental Error:

الخطأ العشوائي خطأ متغير غير ثابت لا في القيمة ولا في الإشارة ولا يمكن التنبؤ به ولا معرفة مصدره الرئيسي، ولذلك فأسمه العشوائي. توجد الأخطاء العشوائية - مهما صغرت قيمتها - في كل القياسات ويتم التعامل معها بطرق رياضية لمحاولة الوصول إلي القيمة الأكثر احتمالا للكميات المطلوب حساب قيمتها الدقيقة. وهذا هو موضوع نظرية الأخطاء Theory of Errors أو عملية الضبط Adjustment.

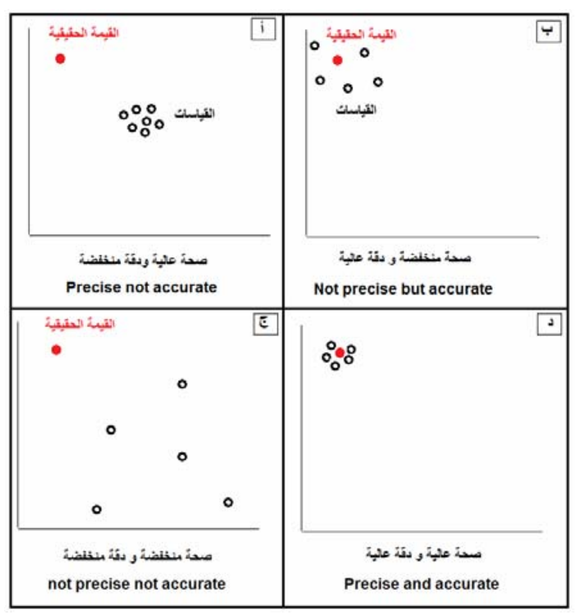
٨-٢ مبادئ إحصائية عامة

(أ) الدقة Accuracy والصحة Precision:

يجب علي دارس المساحة أن يفرق بين كلا المفهومين وخاصة – للأسف – أن بعض الكتب باللغة العربية تترجم كلا الكلمتين إلي "دقة" مع أنه يوجد اختلاف جذري بينهما. فالصحة (البعض يسميها الإحكام أو الدقة الظاهرية) Precision تدل علي مدي تقارب مجموعة من القياسات لنفس الهدف، أي أن الصحة هي درجة التوافق بين عدة قياسات لقيمة واحدة، أو هي درجة تنقية الأرصاد من الأخطاء معروفة المصدر وإزالة تأثيرها علي القياسات. بينما الدقة Accuracy تدل علي مدي قرب هذه الأرصاد من القيمة الحقيقية لها، أو بمعني آخر فالدقة هي درجة الكمال في الأرصاد وخلوها من الأخطاء بقدر الإمكان.

لنأخذ مثالا: تم قياس مسافة عدد من المرات فكانت النتائج ٨.٢٤ ، ٨.٢٦ ، ٨.٢٠ ، ٨.٢٢ متر. هذه الأرصاد متقاربة جدا من بعضها مما يجعلنا نقول أن "صحة" الأرصاد عالية. لكن ماذا لو كان الشريط المستخدم في هذه الأرصاد به خطأ منتظم قيمته ٢٠ سنتيمتر مثلا، هنا ستكون كل القياسات بعيدة عن القيمة الحقيقية للمسافة المقاسة ، أي أنها "دقة" الأرصاد ستكون منخفضة.

الشكل التالي يمثل أربعة حالات للفرق بين الدقة و الصحة: (أ) فان كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض لكنها في نفس الوقت بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية لكن الدقة منخفضة، (ب) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض لكنها في نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة لكن الدقة عالية، (ج) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض وأيضا بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة والدقة منخفضة أيضا، (د) أما إن كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض وفي نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية والدقة عالية أيضا.



شكل (٨-١) الدقة و الصحة

من الصعب معرفة القيمة الحقيقية لأي قيمة مقاسة لتحديد دقة القياسات، وغالبا نستطيع حساب قيمة هي الأكثر احتمالا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية. مثلا إذا قممنا بقياس زاوية عدة مرات – وتأكدنا من عدم وجود أية أغلاط أو أخطاء منتظمة أو أخطاء تراكمية – ثم قمنا بحساب متوسط هذه الأرصاد فأنه سيكون أقرب وأكثر احتمالا للقيمة الحقيقية لهذه الزاوية. لكي نحدد مقياس للدقة يتم مقارنة القيمة الأكثر احتمالا (المتوسط) بقيمة المسافة التي تم قياسها بطريقة أدق، فمثلا نقارن متوسط المسافات المقاسة بالشريط مع قيمة المسافة المقاسة بالمحطة الشاملة ونقارن متوسط الزاوية المقاسة بالثيودليت مع قيمة الزاوية المحسوبة من أرصاد النظام العالمي لتحديد المواقع GPS، ونقارن إحداثيات GPS مع إحداثيات تقنية أخري أكثر تقدما ودقة مثل VBLI. Accurate

يمكن تقسيم الأرصاد المساحية إلي مجموعتين:

(١) أرصاد مباشرة Direct Observations:

عند قياس الكمية المطلوبة قياسا مباشرا فمثلا قياس المسافة مباشرة وكذلك قياس الزوايا المطلوبة ... الخ. تسمي هذه الكميات في هذه الحالة كميات مستقلة Independent Observations أي لا تعتمد علي أية أرصاد أو كميات أخري.

(٢) أرصاد غير مباشرة Indirect Observations:

هي الكميات التي لا يمكن قياسها مباشرة لكن يتم عمل أرصاد لكميات أخري والتي منها سيتم تحديد أو حساب قيم الكميات الأصلية المطلوبة. فمثلا قياس طول وعرض مربع بهدف حساب مساحته، وعند حساب إحداثيات نقاط ترافرس فنقيس زوايا و أضلاع الترافرس والتي هنا تمثل أرصاد غير مباشرة. وتسمي الأرصاد غير المباشرة كميات تابعة Dependant Observations لأنها تعتمد في تحديد قيمتها علي قيم أرصاد أخري تتأثر بها.

القيمة الأكثر احتمالا Most-Probable Value:

من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – معرفة القيمة الحقيقية لأي كمية مقاسة وذلك لوجود أخطاء في القياس مهما كانت قيمة هذه الأخطاء صغيرة جدا. إن كانت الأرصاد مستقلة ولا تعتمد علي بعضها البعض وقمنا بتكرار القياس عدة مرات فأن قيمة المتوسط الحسابي ستمثل القيمة الأكثر احتمالا أو الأكثر توقعا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية.

المتوسط الحسابي = مجموع الأرصاد / عدد الأرصاد (٨-١)

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \qquad (8-1)$$

حيث:

y_i تمثل الأرصاد $y_1, y_2, y_3, \ldots\ldots y_n$

n تمثل عدد الأرصاد

الخطأ الحقيقي True Error:

هو الفرق بين القيمة المرصودة والقيمة الحقيقية لها. وبما أن القيمة الحقيقية لا يمكن معرفتها ففي معظم الأحيان فان الخطأ الحقيقية أيضا لا يمكن معرفته. لكن في بعض الحالات يمكن معرفة الخطأ الحقيقي من خلال مواصفات أو قواعد هندسية معلومة فمثلا عند قياس الزوايا الثلاثة لمثلث فيجب أن يساوي مجموع الزوايا ١٨٠ درجة، ففي هذه الحالة يكون الخطأ الحقيقي هو ناتج طرح مجموع الزوايا المقاسة من ١٨٠.

الخطأ الحقيقي = القيمة المرصودة – القيمة الحقيقية (٨-٢)

$$\varepsilon_i = y_i - \mu \tag{8-2}$$

حيث:
μ القيمة الحقيقية
ε الخطأ الحقيقي

الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals or Discrepancies:

الفرق أو الخطأ المتبقي (أو الباقي) هو الفرق بين القيمة المرصودة و القيمة الحقيقية لها. لكننا نستعيض عن القيمة الحقيقية بالقيمة الأكثر احتمالا لها وبذلك يكون الخطأ المتبقي:

الفرق = القيمة الأكثر احتمالا – القيمة المرصودة (٨-٣)

$$v_i = \bar{y} - y_i \tag{8-3}$$

حيث:
v الخطأ المتبقي أو الفرق

التباين Variance:

التباين هو مؤشر إحصائي يحدد مدي تباين أو انتشار أو تشتت مجموعة من الأرصاد حول القيمة الحقيقية لها أو القيمة الأكثر احتمالا لها، ولذلك يوجد نوعين من التباين:

تباين المجتمع Population Variance:

إذا تم قياس **كل** الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوبة فأن تباين المجتمع يساوي مجموع مربعات الأخطاء **الحقيقية** مقسوما علي عدد الأرصاد:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n} \tag{8-4}$$

حيث ε الخطأ الحقيقي لكل رصدة (وهو كما ذكرنا غير معلوم بسبب أن القيمة الحقيقية غالبا غير معلومة).

تباين العينة Sample Variance:

إذا تم قياس **عينة** أو مجموعة من الأرصاد للقيمة المطلوبة فأن تباين هذه العينة يساوي مجموع مربعات الأخطاء **المتبقية** (وليست الأخطاء الحقيقية) مقسوما علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1} \qquad (8\text{-}5)$$

حيث: v الخطأ المتبقي أو الفرق لكل رصدة.

أي أننا في حسابات المساحة نتعامل مع تباين العينة وليس تباين المجتمع وذلك بسبب حساب تباين المجتمع يتطلب معرفة القيمة الحقيقية وهي غير معلومة وبالتالي لا يمكننا معرفة قيم الأخطاء الحقيقية (في المعادلة ٨-٤) وذلك بالإضافة إلي أننا لا نستطيع قياس كل الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوب قياسها.

الخطأ المعياري Standard Error:

الخطأ المعياري هو الجذر التربيعي لقيمة تباين المجتمع.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n}} \qquad (8\text{-}6)$$

الانحراف المعياري Standard Deviation:

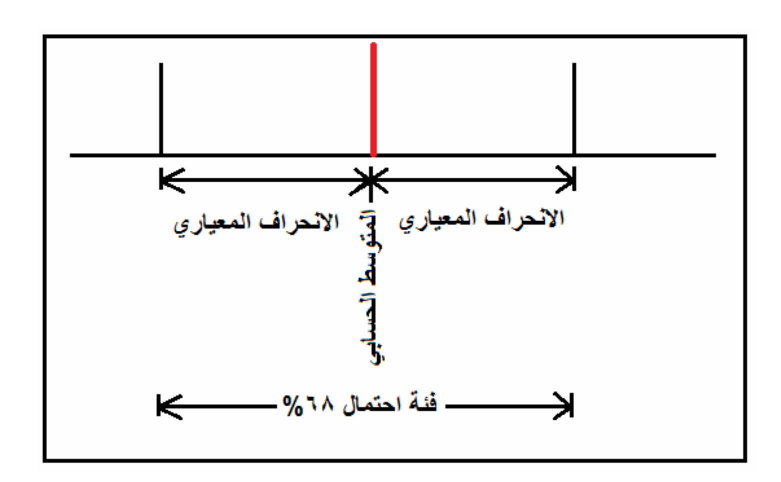
يعبر الانحراف المعياري (يطلق عليه أيضا أسم الخطأ التربيعي المتوسط Mean Square Error) عن مدي انحراف (ابتعاد أو اقتراب) القيمة المقاسة عن القيمة الأكثر احتمالا لها، وقيمته تساوي الجذر التربيعي لقيمة تباين العينة:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1}} \qquad (8\text{-}7)$$

ترجع أهمية قيمة الانحراف المعياري إلي وجود احتمال بنسبة ٦٨% أن القيمة الحقيقية ستقع في مدي يتراوح بين (المتوسط + الانحراف المعياري) و (المتوسط - الانحراف المعياري). مثال: إذا كان متوسط عدد من القياسات لمسافة يساوي ٥٣.٢١ متر وكان الانحراف المعياري للقياسات يساوي ± ٠.٠٣ متر فأن القيمة الحقيقية لهذه المسافة ستقع باحتمال ٦٨% بين ٥٣.٢١+٠.٠٣ و ٥٣.٢١-٠.٠٣ أي بين ٥٣.٢٤ و ٥٣.١٩ متر.

بمعني آخر يمكن القول أن ٦٨% من القياسات أو الأرصاد يحتمل أن يكون بها خطأ قيمته تساوي قيمة الانحراف المعياري سواء بإشارة موجبة أو سالبة.

كلما صغرت قيمة الانحراف المعياري صغرت حدود هذه الفئة مما يدل علي أن القياسات أقرب ما تكون للقيمة الحقيقية، والعكس صحيح فكلما كبرت قيمة الانحراف المعياري زادت حدود الفئة مما يعطي انطباعا أن القياسات أو الأرصاد بعيدة عن القيمة الحقيقية.



شكل (٨-٢) العلاقة بين المتوسط و الانحراف المعياري

أيضا يجب ملاحظة أن الانحراف المعياري يعتمد علي عدد الأرصاد (n في المعادلة ٨-٧)، أي أن كلما زاد عدد الأرصاد أو القياسات كلما زاد اقتراب هذه القياسات من القيمة الحقيقية لها وبالتالي تزداد الثقة في القياسات. وهذا من أهم مبادئ العمل المساحي بصفة عامة حيث دائما نفضل أن نقيس الكمية عدد من المرات ولا نكتفي بقياسها مرة واحدة فقط.

<u>الانحراف المعياري للمتوسط Standard Deviation of the Mean:</u>

الانحراف المعياري للمتوسط الحسابي هو حاصل قسمة الانحراف المعياري للعينة علي الجذر التربيعي لعدد الأرصاد:

$$S_{\bar{y}} = \pm \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (8-8)$$

تعبر قيمة الانحراف المعياري عن مدي تشتت أو تباعد القياسات عن بعضها البعض وبالتالي فهي قيمة معبرة عن مدي التوافق بين الأرصاد ومن ثم فأن الانحراف المعياري يؤخذ علي أنه مقياس أو مؤشر للصحة Precision. وفي العمل المساحي لا نعبر عن القيمة الأكثر احتمالا بقيمة المتوسط فقط إنما بقيمتي المتوسط و الانحراف المعياري معا، فنقول أن المسافة المقاسة – علي سبيل المثال – تساوي ٥٣.٢١ ± ٠.٠٣ متر.

بالعودة لتعريف كلا من الصحة و الدقة نستطيع القول أن الانحراف المعياري (الذي هو أساسا مؤشر للصحة Precision) يمكنه أن يعبر عن الدقة Precision <u>في حالة</u> خلو الأرصاد بقدر الإمكان من الأخطاء المنتظمة والأخطاء التراكمية والأغلاط. ففي حالة خلو

الأرصاد من مصادر الأخطاء المعروفة فأن القياسات لن يكون بها إلا الأخطاء العشوائية فقط وبالتالي ستقترب قيم الأخطاء المتبقية أو الفروق من قيم الأخطاء الحقيقية وستقترب القيمة الأكثر احتمالا من القيمة الحقيقية للكمية المقاسة، ومن هنا فأن قيمة الانحراف المعياري ستقترب من قيمة الخطأ الحقيقي مما يجعل الانحراف المعياري يعبر - بدرجة كبيرة - عن الدقة. هنا تأتي أهم مبادئ العمل المساحي وهو أنه يحاول تحقيق أعلي درجة من الدقة في الرصد الحقلي سواء دقة الأجهزة المستخدمة أو دقة أساليب الرصد الميداني واتخاذ كافة الاحتياطات و تطبيق مواصفات الرصد وزيادة عدد الأرصاد مما يجعل الأرصاد المساحية خالية بقدر الإمكان من الأخطاء معلومة المصدر وبذلك فتكون نتائج الحسابات المساحية معبرة عن دقة الكميات المطلوب تحديدها.

<u>مثال ١:</u>

قيست مسافة ستة مرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥١.١٢، ٥١.١٤، ٥١.١٨، ٥١.١٩، ٥١.٢٢، ٥١.١٦ متر. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لهذه المسافة.

مجموع المسافات المقاسة = ٥١.١٢ + ٥١.١٤ + ٥١.١٨ + ٥١.١٩ + ٥١.٢٢ + ٥١.١٦ = ٣٠٧.٠١ متر

المتوسط الحسابي = مجموع المسافات ÷ عددهم = ٣٠٧.٠١ ÷ ٦ = ٥١.١٦٨ متر

نحسب الخطأ المتبقي لكل قياس = المتوسط - الرصدة
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٥١.١٦٨ – ٥١.١٢ = ٠.٠٤٨ متر
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٦٨ – ٥١.١٤ = ٠.٠٢٨ متر
وهكذا كما في العمود الثالث من الجدول التالي.

نحسب مربع كل خطأ متبقي للقياسات:
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٠.٠٤٨ × ٠.٠٤٨ = ٠.٠٠٢٣٣٦ متر مربع
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٠.٠٢٨ × ٠.٠٢٨ = ٠.٠٠٠٨٠٣ متر مربع
وهكذا كما في العمود الرابع من الجدول التالي.

نحسب مجموع مربعات الأخطاء المتبقية = ٠.٠٠٦٤٨٣ متر مربع

نحسب تباين العينة (المعادلة ١٢-٥) = ٠.٠٠٦٤٨٣ ÷ (٦-١))
= ٠.٠٠١٢٩٦٧ متر مربع

نحسب الانحراف المعياري (المعادلة ١٢-٧) = جذر (٠.٠٠١٢٩٦٧)
= ٠.٠٣٦ متر.

م	القياسات Y	الفروق v	مربع الفروق v2
1	51.12	0.048	0.002336
2	51.14	0.028	0.000803
3	51.18	-0.012	0.000136
4	51.19	-0.022	0.000469
5	51.22	-0.052	0.002669
6	51.16	0.008	0.000069

العدد	6		
المجموع	307.010		0.006483
المتوسط	51.168		

تباين المجتمع			0.0012967
الانحراف المعياري			0.036
الانحراف المعياري للمتوسط			0.015

القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط ± الانحراف المعياري
= ٥١.١٦٨ ± ٠.٠١٥ متر.

٨-٣ مبدأ الوزن في القياسات المساحية

في المثال السابق قمنا بحساب المتوسط و الانحراف المعياري للمسافة التي تم قياسها عدد من المرات لكننا افترضنا أن كل القياسات متساوية في الدقة و الأهمية. ماذا لو كانت بعض القياسات قد تمت باستخدام الشريط بينما القياسات الأخرى تمت باستخدام جهاز EDM؟ هل ستكون كل القياسات متساوية في الأهمية ومقدار الثقة بها؟ هنا يأتي دور الوزن weight ليكون مفهوما يعبر عن مدي اختلاف أهمية أو الثقة في بعض القياسات. فكلما كانت الثقة في الرصدة كبيرة فيكون وزنها (أهميتها النسبية) كبيرا والعكس صحيح فكلما كانت الثقة ضعيفة في رصدة معينة فيجب أن يكون وزنها أقل. فعلي سبيل المثال إذا قمنا برصد زاوية معينة مرة باستخدام محطة شاملة دقتها ١" ومرة أخري باستخدام جهاز ثيودليت دقته ٥" فأن وزن الزاوية الأولي يجب أن يكون – منطقيا- أكبر من وزن الزاوية الثانية حيث أن دقة الجهاز المستخدم أعلي في الأولي من الثانية.

وبناءا علي مبدأ الوزن (أو الأهمية النسبية) فأن طريقة حساب المتوسط ستتغير لنحسب ما نطلق عليه أسم المتوسط الموزون Weighted Mean (لنفرق بينه وبين المتوسط العادي في المعادلة ٨-١ والذي كان يعتمد علي أن كل القياسات متساوية في الأهمية أو متساوية في الوزن):

المتوسط الموزون = مجموع (حاصل ضرب كل رصدة× وزنها) / مجموع الأوزان

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \, w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (8\text{-}9)$$

كما ستتغير أيضا طريقة حساب الانحراف المعياري عند وجود أوزان مختلفة للقياسات (بدلا من المعادلة ٨-٧) وذلك بحساب الجذر التربيعي لقيمة الناتج من قسمة مجموع حاصل ضرب (مربع الخطأ المتبقي لكل رصدة في وزن الرصدة) علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2 \, w_i}{n-1}} \qquad (8\text{-}10)$$

كذلك ستتغير معادلة حساب الانحراف المعياري للمتوسط (٨-٨) لتصبح ناتج قسمة الانحراف المعياري علي الجذر التربيعي لمجموع الأوزان:

$$S_{\bar{y}} = \pm \frac{S}{\sqrt{w}} \qquad (8\text{-}11)$$

<u>مثال ٢:</u>

قيست مسافة ستة مرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥١.١٢، ٥١.١٤، ٥١.١٨، ٥١.١٩، ٥١.٢٢، ٥١.١٦ متر، وكانت أوزان الأرصاد بالترتيب هي ٦، ٥، ٣ ، ١، ١، ٣. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لهذه المسافة.

نحسب مجموع الأوزان = ٦ + ٥ + ٣ + ١ + ١ + ٣ = ١٩

نحسب حاصل ضرب الرصدة × وزنها:
للرصدة رقم ١ = ٥١.١٢ × ٦ = ٣٠٦.٧٢٠
للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٤ × ٥ = ٢٥٥.٧٠٠
وهكذا كما في العمود الرابع من الجدول التالي.

مجموع (الرصدة×الوزن) أي مجموع العمود الرابع = ٩٧١.٨٥٠

من المعادلة ٨-٩:
المتوسط الحسابي الموزون = مجموع (الرصدة×الوزن) ÷ مجموع الأوزان
= ٩٧١.٨٥٠ ÷ ١٩ = ٥١.١٥٠ متر

نحسب الخطأ المتبقي لكل قياس = المتوسط الموزون - الرصدة
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٥١.١٥٠ – ٥١.١٢ = ٠.٠٣٠ متر
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٥٠ – ٥١.١٤ = ٠.٠١٠ متر
وهكذا كما في العمود الخامس من الجدول التالي.

نحسب مربع كل خطأ متبقي للقياسات:
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٠.٠٣٠ × ٠.٠٣٠ = ٠.٠٠٠٩ متر مربع
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٠.٠١٠ × ٠.٠١٠ = ٠.٠٠٠٠١ متر مربع
وهكذا كما في العمود السادس من الجدول التالي.

نحسب حاصل ضرب (الخطأ المتبقي× الوزن):
للرصدة رقم ١ = ٠.٠٠٠٩ × ٦ = ٠.٠٠٥٤ متر
للرصدة رقم ٢ = ٠.٠٠٠١ × ٥ = ٠.٠٠٠٥ متر
وهكذا كما في العمود السابع من الجدول التالي.

نحسب مجموع حاصل ضرب (مربعات الأخطاء المتبقية × الوزن) أي مجموع العمود السابع = ٠.٠١٥٤ متر مربع

نحسب تباين العينة = ٠.٠١٥٤ ÷ (٦-١))
= ٠.٠٠٣٠٨ متر مربع

نحسب الانحراف المعياري (المعادلة ١٢-١٠) = جذر (٠.٠٠٣٠٨)
= ٠.٠٥٥ متر.
القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط ± الانحراف المعياري
= ٥١.١٥٠ ± ٠.٠١٣ متر.

م	القياسات y	الأوزان w	الرصدة × الوزن y.w	الفروق V	مربع الفروق v2	مربع الفروق × الوزن w.v2
1	51.12	6	306.72	0.030	0.000900	0.005400
2	51.14	5	255.70	0.010	0.000100	0.000500
3	51.18	3	153.54	-0.030	0.000900	0.002700
4	51.19	1	51.19	-0.040	0.001600	0.001600
5	51.22	1	51.22	-0.070	0.004900	0.004900
6	51.16	3	153.480	-0.010	0.00010	0.00030
العدد	6					
المجموع	307.01	19	971.85		0.00850	0.01540
المتوسط الموزون			51.150			
تباين المجتمع					0.001700	0.003080
الانحراف المعياري						0.055
الانحراف المعياري للمتوسط						0.013

بمقارنة نتائج هذا المثال بنتائج المثال السابق نجد أن:

- قيمة المتوسط الموزون (٥١.١٥٠ متر) تختلف عن قيمة المتوسط العادي (٥١.١٦٨ متر).
- قيمة الانحراف المعياري للمتوسط الموزون (± ٠.٠١٣ متر) أقل من قيمة الانحراف المعياري العادي (± ٠.٠١٥ متر).

يرجع السبب في هذه الاختلافات إلي أننا في المثال الأول قد تعاملنا مع كل الأرصاد بنفس قيمة الوزن أو الأهمية أو مقدار الثقة فيها، بينما في المثال الثاني استطعنا التفرقة بين الأرصاد الموثوق بها (صاحبة الوزن الكبير) والأرصاد قليلة الثقة أو قليلة الأهمية (صاحبة الوزن الصغير) مما يجعل قيمة المتوسط الموزون تكون أقرب للأرصاد الموثوق بها. وكذلك فأن قيمة الانحراف المعياري في المثال الثاني أقل من المثال الأول بسبب أن

الأرصاد صغيرة الوزن لم تعد مؤثرة بدرجة كبيرة مما يقلل من قيمة التباين أو التشتت بين مجموعة الأرصاد ككل وهذا يؤدي لتحسن قيمة الانحراف المعياري للمتوسط.

و كتجربة إذا اعتمدنا فقط علي أول رصدتين (بصفتهما ذات أعلي وزن) فسنجد أن قيمة المتوسط الموزون ستصبح ٥١.١٢٩ متر وأن قيمة الانحراف المعياري له ستصبح ± ٠.٠٠٤ متر.

م	القياسات y	الأوزان w	الرصدة × الوزن y.w	الفروق v	مربع الفروق v2	مربع الفروق × الوزن w.v2
1	51.12	6	306.720	0.009	0.000083	0.000496
2	51.14	5	255.700	-0.011	0.000119	0.000595
العدد	6					
المجموع	102.26	11	562.42		0.000202	0.001091
المتوسط الموزون			51.129			
تباين المجتمع					0.000040	0.000218
الانحراف المعياري الانحراف المعياري للمتوسط						0.015 0.004

مثال ٣:

تم إجراء ثلاثة خطوط ميزانية بين نقطتين فكانت الأرصاد كالتالي:

الخط الأول: طول الخط = ١٧٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٩٢ متر
الخط الثاني: طول الخط = ٩٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٤٠ متر
الخط الثالث: طول الخط = ١٠٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٨٠ متر

أحسب القيمة الأكثر احتمالا لفرق المنسوب بين هاتين النقطتين.

من مبادئ أعمال الميزانية أن قيمة الخطأ ستزيد كلما زادت المسافة بين النقطتين بسبب أن رصد المسافات الطويلة سيستغرق وقتا أطول وتكون عدد وقفات الميزان أكثر مما يزيد من احتمالات حدوث أخطاء في عملية الرصد الحقلي. لذلك فأننا نأخذ الوزن بحيث أنه يتناسب

عكسيا مع طول خط الميزانية، أي أن الخطوط الطويلة ستأخذ وزنا أقل من الخطوط القصيرة.

وزن الخط الأول = ١ / ١٧٠٠ = ٠.٠٠٠٥٩
وزن الخط الثاني = ١ / ٩٠٠ = ٠.٠٠١١١
وزن الخط الثالث = ١ / ١٠٠٠ = ٠.٠٠١٠٠

المتوسط الموزون = (٠.٠٠٠٥٩×٢٩.٤٩٢) + (٠.٠٠١١١×٢٩.٤٤٠) + (٠.٠٠١٠٠×٢٩.٤٨٠) ÷ (٠.٠٠٠٥٩ + ٠.٠٠١١١ + ٠.٠٠١٠٠) = ٢٩.٤٦٦ متر

الخطأ المتبقي ١ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٩٢ = - ٠.٠٢٦ متر
الخطأ المتبقي ٢ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٤٠ = + ٠.٠٢٦ متر
الخطأ المتبقي ٣ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٨٠ = - ٠.٠١٤ متر

ونكمل باقي خطوات الحساب كما في الجدول التالي:

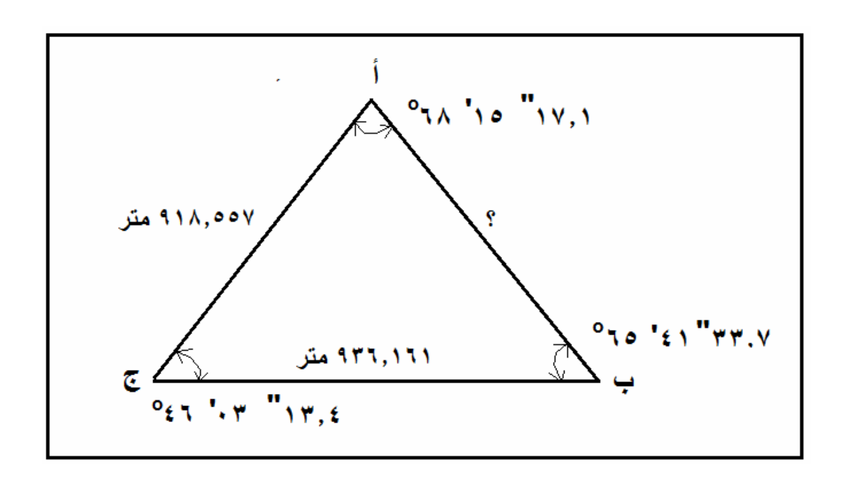
م	القياسات y	الأوزان w	الرصدة × الوزن y.w	الفروق v	مربع الفروق v2	مربع الفروق × الوزن w.v2
1	29.492	0.00059	0.017	-0.026	0.00067	0.000000
2	29.44	0.00111	0.033	0.026	0.00068	0.000001
3	29.48	0.00100	0.029	-0.014	0.00019	0.000000
العدد	6					
المجموع	88.412	0.002699	0.080		0.00154	0.000001
المتوسط الموزون			29.466			
تباين المجتمع					0.00031	0.0000003
الانحراف المعياري						0.001
الانحراف المعياري للمتوسط						0.010

القيمة الأكثر احتمالا لفرق المنسوب بين النقطتين: ٢٩.٤٤٦ ± ٠.٠١٠ متر.

٨-٤ ضبط الشبكات Network Adjustment

من مبادئ العمل المساحي إننا نقوم بقياس عدد من الأرصاد أكثر من العدد الفعلي المطلوب وذلك لكي يتوافر لدينا أرصاد زائدة Redundant Observations تمكننا من توفير فرصة للمراجعة و التحقيق الحسابي و فحص الأرصاد. فمثلا من الممكن أن نكتفي بقياس زاويتين في مثلث ونقوم بحساب الزاوية الثالثة لكننا في الواقع نقيس الزوايا الثلاثة حتى نتحقق من أن مجموعهم يساوي ١٨٠ درجة وبالتالي نتأكد من جودة القياسات ونستطيع أن نحدد قيمة الخطأ. وهنا تكون لدينا رصدة واحدة زائدة حيث أن عدد الأرصاد الفعلية للمثلث هو ٢ بينما عدد الأرصاد المقاسة هو ٣.

علي سبيل المثال إذا كان مطلوبا في الشكل التالي حساب طول ضلع المثلث أ ب وقمنا لرصد الزوايا الثلاثة للمثلث و تم قياس طول الضلعين الآخرين أ ج ، ب ج.



شكل (٨-٣) مثال للأرصاد الزائدة في مثلث

لحساب طول الضلع الثالث للمثلث يلزمنا ٣ أرصاد فقط بينما المتوفر ٥ أرصاد، لذلك يوجد عدة حلول مختلفة منها علي سبيل المثال:

من معادلة جيب الزاوية:

أ ب = ب ج جا ج / جا أ = ٧٢٥.٧٥٣ متر

أ ب = أ ج جا ج / جا ب = ٧٢٥.٧٥٩ متر

من معادلة جيب تمام الزاوية:

أب = جذر (ب ج ٢ + أ ج ٢ – ٢ ب ج × أ ج × جتا ج) = ٧٢٥.٩٥٣ متر

للتغلب علي مشكلة وجود عدة حلول (عدة احتمالات للقيمة المطلوبة) فتوجد أربعة أساليب:

(أ) اختيار أنسب مجموعة أرصاد من حيث الثقة فيهم (أدق ٣ قيم في المثال الحالي) وحساب قيمة الضلع المجهول منها. لكن عيب هذه الطريقة أننا سنهمل باقي الأرصاد ولن نستخدمها في الحسابات.

(ب) حساب القيمة المجهولة بإتباع كل الحلول و المعادلات المتاحة ثم حساب متوسط كل هذه الحلول. لكن هذه الطريقة تحتاج وقت أطول ومجهود أكبر بالطبع.

(ج) ضبط الأرصاد بصورة بسيطة (مثل ضبط قيم زوايا المثلث الثلاثة بحيث يساوي مجموعهم ١٨٠ درجة بالضبط) ثم الاعتماد علي الأرصاد المضبوطة أو المصححة في حساب قيمة الكمية المطلوبة (الضلع الثالث في مثالنا الحالي). لكن يعيب هذه الطريقة أنها تحتاج مجهود كبير خاصة في الشبكات المساحية الضخمة ، لكنها قد تكون مناسبة للأعمال البسيطة مثل الترافرسات

(د) ضبط الأرصاد بالاعتماد علي شرط أو خاصية محددة أو بأسلوب معين مشروط. وهنا يأتي ما يسمي بضبط الشبكات Network Adjustment والذي له عدة طرق.

٨-٥ الضبط بطريقة مجموع أقل المربعات Least-Squares Adjustment

توجد عدة طرق لضبط الشبكات Network Adjustment مثل (١) طريقة أقل مجموع Least Sum والتي تعتمد علي ضبط الأرصاد بحيث يكون مجموع الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals أقل ما يمكن، (٢) طريقة مجموع أقل المربعات Least-Squares والتي تعتمد علي جعل مربعات الأخطاء المتبقية أقل ما يمكن. وهذه الطريقة الثانية هي الأشهر و الأكثر استخداما في أعمال المساحة و الجيوديسيا.

أثبتت الدراسات الرياضية و الإحصائية أن حل مجموعة من المعادلات - بحيث يكون مجموع مربعات الأخطاء المتبقية أقل ما يمكن – ينتج عنه أدق قيم العناصر المجهولة في هذه المعادلات. الشرط الرئيسي للضبط بطريقة مجموع أقل المربعات أن لا تحتوي الأرصاد (القياسات) الأصلية علي أي أخطاء منتظمة أو أغلاط أو أخطاء تراكمية، إنما فقط الأخطاء العشوائية. أي يجب معالجة الأخطاء المنظمة واكتشافها و إزالتها من الأرصاد قبل البدء في تنفيذ ضبط أقل مجموع مربعات.

يوجد أسلوبين لتنفيذ ضبط الشبكات في طريقة مجموع أقل المربعات:

(أ) طريقة معادلات الرصد Observation Equations:

يتم تكوين معادلة رياضية تربط بين القيمة المرصودة (الرصدة) والقيم المجهولة ، ثم يتم حل هذه المعادلات معا. كما تسمي هذه الطريقة أيضا باسم الضبط المباشر Parametric Adjustment حيث أن القيم المجهولة Parameters تظهر مباشرة في معادلات الرصد المطلوب حلها.

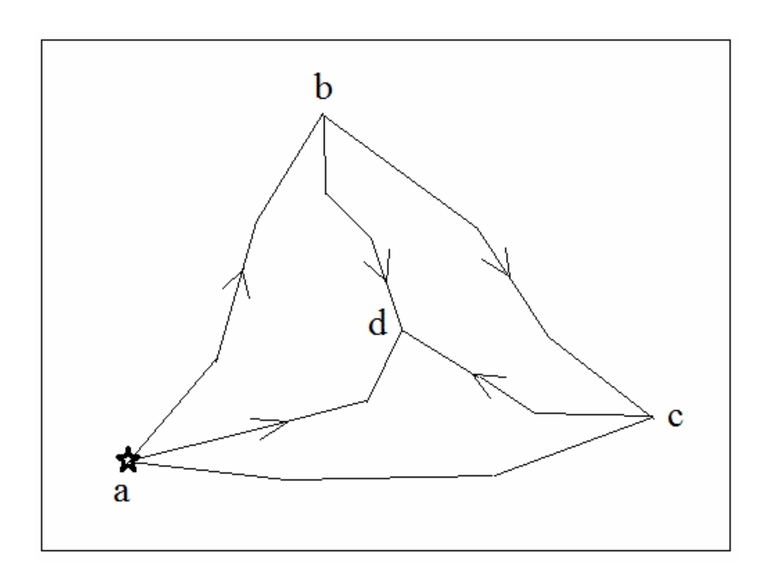
(ب) طريقة معادلات الشرط Condition Equations:

يتم تكوين معادلات شرطية بحيث تحقق كل معادلا منهم شرطا رياضيا معينا يجب تحقيقيه في الأرصاد المساحية، ثم يتم حل هذه المعادلات معا لحساب قيم العناصر المجهولة. وتسمي هذه الطريقة أيضا باسم الضبط الشرطي Conditional Adjustment.

في الأجزاء التالية سنتعرض لأمثلة تطبيقية لكلا من هاتين الطريقتين وكيفية تكوين و حل معادلاتهم خطوة بخطوة (أنظر مرجع Uotila 1986 و مرجع Nassar, 1987).

٨-٥-١ ضبط أقل المربعات لمعادلات الرصد

الشكل التالي يمثل شبكة من أرصاد الميزانيات تربط بين ٤ روبيرات BM حيث تتكون هذه الشبكة من ٦ خطوط ميزانية، ونفترض أن منسوب النقطة a معلوم (سنفرضه = صفر متر في الحالة الحالية) في هذه الحلقة.



شكل (٨-٤) مثال لضبط شبكة ميزانيات

الجدول التالي يمثل قيم الأرصاد (فروق المناسيب في كل خط) وكذلك طول خطوط الميزانية:

م	خط الميزانية		فرق المنسوب (متر)	طول الخط (كم)
	من نقطة	إلي نقطة		
١	a	c	٦.١٦	٤
٢	a	d	١٢.٥٧	٢
٣	c	d	٦.٤١	٢
٤	a	d	١.٠٩	٤
٥	b	d	١١.٥٨	٢
٦	b	c	٥.٠٧	٤

المطلوب حساب قيم العناصر المجهولة التي تتمثل في منسوب النقاط b, c, d مع قيم الانحراف المعياري لكلا منهم.

في الخطوة الأولي نكون معادلات الرصد observation equations التي تربط بين الأرصاد الستة (فروق المناسيب) والقيم المجهولة الأربعة (المناسيب ذاتها). علما بأن عدد الأرصاد (يأخذ الرمز n) = ٦، وعدد المجاهيل أو القيم المجهولة (يأخذ الرمز u) = ٣، وبالتالي سيكون لدينا عدد المعادلات = عدد الأرصاد = n = ٦ كالتالي:

$$\Delta H_1 = H_c - H_a$$
$$\Delta H_2 = H_d - H_a$$
$$\Delta H_3 = H_d - H_c$$
$$\Delta H_4 = H_b - H_a$$
$$\Delta H_5 = H_d - H_b$$
$$\Delta H_6 = H_c - H_b$$

الآن سنعيد تنظيم (أو كتابة) كل معادلة بحيث تشمل العناصر المجهولة الثلاثة (بدلا من عنصرين فقط يتغيران من معادلة لأخرى)، وبالطبع سنضع القيمة صفر أمام العنصر الذي لا يظهر في المعادلة (سنضيف في المعادلات منسوب النقطة المعلومة a مجرد للحساب لاحقا):

$$\Delta H_1 = +0\,H_b \quad + \; H_c \quad +0\,H_d \quad - \; H_a$$
$$\Delta H_2 = +0\,H_b \quad -0\,H_c \quad + \; H_d \quad - \; H_a$$
$$\Delta H_3 = +0\,H_b \quad - \; H_c \quad + \; H_d \quad +0\,H_a$$
$$\Delta H_4 = + \; H_b \quad +0\,H_c \quad +0\,H_d \quad - \; H_a$$
$$\Delta H_5 = - \; H_b \quad +0\,H_c \quad + \; H_d \quad +0\,H_a$$
$$\Delta H_6 = - \; H_b \quad + \; H_c \quad +0\,H_d \quad +0\,H_a$$

في الخطوة التالية سنحول هذه المعادلات (الستة) إلي صورة المصفوفات Matrix (والمتجهات vectors وهي المصفوفة التي تتكون من عمود واحد أو صف واحد).

نضع قيم الأرصاد في متجه $\overline{L}$ (يسمي متجه الأرصاد vector of observations) يتكون من n (٦ في المثال الحالي) من الصفوف، يكتب $\overline{L}_{nx1}$ أي $\overline{L}_{6x1}$ في المثال الحالي:

$$\overline{L}_{nx1} = \begin{bmatrix} \Delta H_1 \\ \Delta H_2 \\ \Delta H_3 \\ \Delta H_4 \\ \Delta H_5 \\ \Delta H_6 \end{bmatrix}$$

ثم نضع قيم العناصر المجهولة في متجه X (يسمي متجهة العناصر المجهولة vector of unknown parameters) يتكون من u (٣ في المثال الحالي) من الصفوف، يكتب X_{ux1} أي X_{3x1} في المثال الحالي:

$$X_{ux1} = \begin{bmatrix} H_b \\ H_c \\ H_d \end{bmatrix}$$

الآن سنحسب قيم تقريبية للعناصر المجهولة (من الأرصاد نفسها) وباستخدام القيمة الثابتة لمنسوب النقطة الأولي a (منسوبها = صفر افتراضا) كالآتي:

$H_b = H_a + \Delta H_4 = 0.0 + 1.09 = 1.09$ m
$H_c = H_a + \Delta H_1 = 0.0 + 6.16 = 6.16$ m
$H_d = H_a + \Delta H_2 = 0.0 + 12.57 = 12.57$ m

أي أن متجهة القيم المجهولة التقريبي X^o سيكون:

$$X^o_{ux1} = \begin{bmatrix} 1.09 \\ 6.16 \\ 12.57 \end{bmatrix}$$

نلاحظ أن عدد الأرصاد n أكبر من عدد المجاهيل u (٦ أرصاد في ٣ مجاهيل في المثال الحالي). الفرق بين هاتين القيمتين n – u هو ما يطلق عليه اسم درجات الحرية degree of freedom. بمعني أن شبكة الروبيرات الحالية تحتوي علي ٣ نقاط (روبيرات) مجهولة المنسوب، وكان يمكن رصد ٣ خطوط ميزانية فقط لحساب قيم مناسيب هذه الروبيرات الثلاثة (حالة أن n = u). لكن لن يكون هناك أي تحقيق حسابي check أن المناسيب المحسوبة تعد مناسيب دقيقة أم لا. فإذا رصدنا خط ميزانية رابع فسيصبح لدينا أكثر من حل، وهكذا إذا رصدنا خط ميزانية خامس. أي أن في المثال الحالي يتوافر لدينا عدد درجات حرية = ٦ – ٣ = ٣. هنا يأتي دور طريقة الضبط بأقل مجموع مربعات حيث أن نتائج هذه الطريقة تقدم لنا "أفضل أو أدق" الحلول الممكنة. كلما زاد عدد درجات الحرية كلما كان ذلك أفضل في العمل المساحي و الجيوديسي بصفة عامة.

في الخطوة التالية سنقوم بحساب قيم تقريبية للأرصاد (من القيم التقريبية للعناصر المجهولة) للمتجهة التقريبي L^o كالآتي:

$\Delta H^o_1 = H^0_c - H_a = 6.16 - 0.0 = 6.16$ m
$\Delta H^o_2 = H^0_d - H_a = 12.57 - 0.0 = 12.57$ m
$\Delta H^o_3 = H^0_d - H^o_c = 12.57 - 6.16 = 6.41$ m
$\Delta H^o_4 = H^0_b - H_a = 1.09 - 0.0 = 1.09$ m
$\Delta H^o_5 = H^0_d - H^o_b = 12.57 - 1.09 = 11.48$ m
$\Delta H^o_6 = H^0_c - H^o_b = 6.16 - 1.09 = 5.07$ m

ثم سنحسب قيم متجهة الأخطاء المتبقية (Residual Vector) W والذي يتكون من n (٦ في المثال الحالي) من الصفوف، يكتب W_{nx1} أي W_{6x1} في المثال الحالي، وهو الفرق بين متجه الأرصاد الأصلية ومتجهة الأرصاد التقريبية:

$W_{6x1} = L^o_{6x1} - L_{6x1}$

$$W = \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.57 \\ 6.41 \\ 1.09 \\ 11.48 \\ 5.07 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.57 \\ 6.41 \\ 1.09 \\ 11.58 \\ 5.07 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -0.10 \\ 0.00 \end{bmatrix} \text{ m}$$

ثم نضع قيم معاملات معادلات الأرصاد في مصفوفة A (تسمي مصفوفة المعاملات Coefficients Matrix) تتكون من n من الصفوف (٦ في المثال الحالي) و u من الأعمدة (٣ في المثال الحالي)، تكتب A_{nxu} أي A_{6x3} في المثال الحالي:

$$A_{6x3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ unitless}$$

لاحظ أن المصفوفة A ليس لها وحدات Unitless لأن جميع عناصرها مجرد معاملات ليس لها أية وحدات.

نأتي الآن لتكوين مصفوفة التباين Variance-Covariance Matrix و مصفوفة الوزن Weight Matrix.

تتكون مصفوفة التباين Σ من n من الصفوف و n من الأعمدة، و يتكون قطر المصفوفة diagonal من قيم التباين variance لكل رصدة من الأرصاد الأصلية، بينما يتواجد خارج

القطر off-diagonal قيم الارتباط بين كل رصدة والأرصاد الأخرى. إذا لم يكن لدينا معلومات عن الارتباط بين الأرصاد (قيم العناصر خارج القطر = صفر) فأن مصفوفة الارتباط ستكون مصفوفة قطرية Diagonal Matrix أي تحتوي قيم في القطر فقط والباقي أصفار. في شبكات الميزانيات – غالبا – نأخذ التباين لكل خط ميزانية يساوي طول الخط نفسه، أي أن مصفوفة التباين للمثال الحالي ستكون:

$$\Sigma_{6x6} = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} cm^2$$

لاحظ أننا اخترنا أو فرضنا وحدات مصفوفة التباين لتكون بالسنتيمتر المربع حتى تكون متناسبة مع دقة الأرصاد الأصلية حيث أن قيم الأرصاد (القياسات) كانت لأقرب سنتيمتر. لاحظ أيضا أن وحدات بالسنتيمتر المربع لأنها وحدات تباين variance وليس وحجات انحراف معياري. لكن لأن جميع الحسابات و المصفوفات ستتم بوحدات المتر (وحدات القياسات) فيجب أن نحول هذه المصفوفة أيضا إلي وحدات المتر. يمكن لإتمام هذا التحويل (من سم٢ إلي م٢) أن نضرب المصفوفة كلها في ٠.٠٠٠١ (أو ١٠-٤) لتصبح:

$$\Sigma_{6x6} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} m^2$$

ثم نحدد وزن (مؤشر الدقة) لكل رصدة من الأرصاد الأصلية (القياسات الحقلية). في شبكات الميزانيات يكون الخطأ المتوقع في أي خط ميزانية يتناسب تناسبا طرديا مع طول الخط ذاته، بمعني إذا كان خط الميزانية طويلا فنتوقع أن يحدث به خطأ أكبر من الخط القصير. لذلك نأخذ الوزن – في شبكات الميزانية – يساوي مقلوب التباين لكل رصدة. نكون مصفوفة الوزن Weight Matrix والتي تتكون من n من الصفوف و n من الأعمدة P_{nxn} (أي P_{6x6} في المثال الحالي) كالتالي:

$$P_{6x6} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} 1/m^2$$

العلاقة بين الوزن و التباين هي علاقة عكسية، بمعني أن لأي رصدة:

$$P_i = 1 / \sigma^2_i$$

وبدلا من قيمة ١ (في البسط) من الممكن أن نكتب أن:

$P_i = constant / \sigma^2_i$

حيث σ^2_i هو تباين الرصدة variance للرصدة رقم i (حيث σ_i هو الانحراف المعياري لها). والرقم الثابت هو ما نطلق عليه اسم تباين الوزن المتساوي variance of unit weight، بمعني أن هذه القيمة ستكون ثابتة لجميع الأرصاد التي لها نفس الوزن، ويأخذ الرمز σ_o^2. أي أن:

$P_i = \sigma_o^2 / \sigma^2_i$

غالبا فنحن نفرض قيمة لتباين الوزن المتساوي σ_o^2 (ثم نحسب القيمة المضبوطة له من نتائج عملية الضبط ذاتها). لذلك من الممكن – في المثال الحالي – أن نأخذ σ_o^2 = ١٠^-٤^ بحيث نعيد كتابة مصفوفة الوزن كالتالي:

$$P_{6x6} = \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} 1/m^2$$

في الخطوة التالية نحسب مصفوفة جديدة تسمي مصفوفة المعادلات الأصولية Normal Equation Matrix وهي مصفوفة حاصل ضرب كلا من مدور Transposeمصفوفة المعاملات في مصفوفة الوزن في مصفوفة المعاملات نفسها:

$N = A^T P A$

i.e.,

$N_{uxu} = A^T_{uxn} P_{nxn} A_{nxu}$

أي أن مصفوفة المعادلات الأصولية ستتكون من u من الصفوف و u من الأعمدة (٣×٣ في المثال الحالي).

$$N = A^T P A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} 1.00 & -0.25 & -0.50 \\ -0.25 & 1.00 & -0.50 \\ -0.50 & -0.50 & 1.50 \end{bmatrix}$$

نلاحظ أن المصفوفة N مصفوفة متماثلة Symmetric Matrix ، بمعني أن العنصر في الصف الأول والعمود الثاني = العنصر في العمود الأول و الصف الثاني، والعنصر في الصف الأول و العمود الثالث = العنصر في العمود الأول والصف الثالث ، ... وهكذا.

$$P_{6x6} = \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \quad 1/m^2$$

في الخطوة التالية نحسب متجه جديد يسمي متجه المعادلات الأصولية Normal Equation Vector وهو حاصل ضرب كلا من مدور Transposeمصفوفة المعاملات في مصفوفة الوزن في متجه الأخطاء المتبقية:

$$U = A^T P W$$

i.e.,

$$U_{ux1} = A^T_{uxn} P_{nxn} W_{nx1}$$

أي أن متجه المعادلات الأصولية سيتكون من u من الصفوف وعمود واحد (٣×١ في المثال الحالي).

$$U = A^T P W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -0.10 \\ 0.00 \end{bmatrix}$$

$$U = \begin{bmatrix} 0.05 \\ 0.00 \\ -0.05 \end{bmatrix}$$

الآن سنضع المعادلة الأساسية لطريقة ضبط أقل المربعات وهي المسماة بنظام المعادلات الأصولية Normal Equation System:

$$(A^T P A) X^{\wedge} + (A^T P W) = 0$$

i.e.,

$$N X^{\wedge} + U = 0$$

حيث $X^\wedge$ يمثل متجه القيم المضبوطة لفرق العناصر المجهولة عن قيمتها التقريبية التي بدأنا بها:

أما حل هذه المعادلة فيكون:

$$X^\wedge = - N^{-1} U$$

حيث الرمز -١ يمثل مقلوب المصفوفة inverse of the matrix (الذي إذا ضرب في المصفوفة يكون الناتج مصفوفة الوحدة). ففي المثال الحالي:

$$N^{-1} = \begin{bmatrix} 1.6 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1.6 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 1.2 \end{bmatrix}$$

لاحظ أن N^{-1} مصفوفة متماثلة أيضا مثل N نفسها.

ويكون متجه القيم المضبوطة لفرق العناصر المجهولة كالتالي:

$$X^\wedge = \begin{bmatrix} -0.04 \\ 0.00 \\ 0.02 \end{bmatrix} \text{ m}$$

أما قيم العناصر المجهولة المضبوطة فتكون حاصل جمع المتجه الأخير مع متجهة القيم التقريبية للعناصر المجهولة:

$$\overline{X} = X^o + X^\wedge$$

$$\overline{X} = X^o + X^\wedge = \begin{bmatrix} 1.09 \\ 6.16 \\ 12.57 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.04 \\ 0.00 \\ 0.02 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.05 \\ 6.16 \\ 12.59 \end{bmatrix} \text{ m}$$

أما القيم المضبوطة للأخطاء المتبقية فيمكن حسابها كالتالي:

$$V^\wedge = A X^\wedge + W$$

$$V^\wedge = A X^\wedge + W = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.02 \\ 0.02 \\ -0.04 \\ -0.04 \\ 0.04 \end{bmatrix} \text{ m}$$

كما يمكن حساب القيم المضبوطة للأرصاد (القياسات) كالتالي:

$$\bar{L} = L + V^{\wedge}$$

$$\bar{L} = L + V^{\wedge} = \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.57 \\ 6.41 \\ 1.09 \\ 11.58 \\ 5.07 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.02 \\ 0.02 \\ -0.04 \\ -0.04 \\ 0.04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.59 \\ 6.43 \\ 1.05 \\ 11.54 \\ 5.11 \end{bmatrix} \text{ m}$$

ويتم حساب القيمة المضبوطة لمعامل التباين Adjusted Variance Factor كالتالي:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \hat{V}^T \ P \ \hat{V} \ / \ (n - u)$$

$$= \begin{bmatrix} 0.00 & 0.02 & 0.02 & -0.04 & -0.04 & 0.04 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.02 \\ 0.02 \\ -0.04 \\ -0.04 \\ 0.04 \end{bmatrix} / \ (6 - 3)$$

$$= 0.002 \ / \ (6 - 3)$$

$$= 6.7 \times 10^{-4}$$

أما مصفوفة التباين المضبوط بين العناصر المجهولة-Adjusted Variance Covariance Matrix of Adjusted Parameters فيتم حسابها كالتالي:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{X}} = \hat{\sigma}_0^2 \ N^{-1}$$

$$= 6.7 \times 10^{-4} \begin{bmatrix} 1.6 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1.6 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 1.2 \end{bmatrix}$$

$$= 10^{-4} \begin{bmatrix} 10.67 & 5.33 & 5.33 \\ 5.33 & 10.67 & 5.33 \\ 5.33 & 5.33 & 8.00 \end{bmatrix}$$

إذا أردنا حساب قيمة الانحراف المعياري المضبوط لقيم العناصر المجهولة فنأخذ الجذر التربيعي لعناصر القطر (قيم التباين) لهذه المصفوفة.

$$\sigma_{H_b} = \sqrt{10^{-4} \times 10.67} = 3.27\ cm$$

$$\sigma_{H_b} = \sqrt{10^{-4} \times 10.67} = 3.27\ cm$$

$$\sigma_{H_d} = \sqrt{10^{-4} \times 8.00} = 2.83\ cm$$

وبالتالي فأن القيم المضبوطة للعناصر المجهولة (مناسيب الروبيرات الثلاثة) تكون كالتالي:

منسوب الروبير a = ١.٠٥ ± ٠.٠٣٢٧ متر
منسوب الروبير b = ٦.١٦ ± ٠.٠٣٢٧ متر
منسوب الروبير c = ١٢.٥٩ ± ٠.٠٢٨٣ متر

في الخطوة الأخيرة من خطوات الضبط من الممكن أن نحسب مصفوفة التباين المضبوط للأرصاد المضبوطة Adjusted Variance-Covariance Matrix of Adjusted Observations (في حالة الحاجة إليها) كالتالي:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = A\ \hat{\Sigma}_{\bar{X}}\ A^T$$

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 10.67 & 5.33 & -5.33 & 5.33 & 0.00 & 5.33 \\ 5.33 & 8.00 & 2.67 & 5.33 & 2.67 & 0.00 \\ -5.33 & 2.67 & 8.00 & 0.00 & 2.67 & -5.33 \\ 5.33 & 5.33 & 0.00 & 10.67 & -5.33 & -5.33 \\ 0.00 & 2.67 & 2.67 & -5.33 & 8.00 & 5.33 \\ 5.33 & 0.00 & -5.33 & -5.33 & 5.33 & 10.67 \end{bmatrix}$$

من الممكن أن نستخدم هذه المصفوفة في حساب الانحراف المعياري للأرصاد المضبوطة في حالة أن هذه الأرصاد ستدخل في حسابات شبكة روبيرات أخري مجاورة للشبكة الحالية.

ملخص لخطوات ضبط أقل المربعات لمعادلات الرصد:

١. قم بتكوين متجه الأرصاد $\bar{L}$ ومتجه العناصر المجهولة X (مع تثبيت وحدات لجميع عناصرهما بالمتر أو بالسنتيمتر ... الخ) ثم قم بتكوين مصفوفة المعاملات.
٢. قم بتكوين مصفوفة التباين للأرصاد Σ وأختر وحدات ثابتة لجميع عناصرها.
٣. قم باختيار القيمة المناسبة لمعامل الارتباط σ_o^2 ومن ثم قم بحساب مصفوفة الوزن P.
٤. أحسب قيم العناصر المجهولة التقريبية X^o ثم القيم التقريبية للأخطاء المتبقية W.
٥. تحقيق: قيم عناصر W يجب أن تكون صغيرة.

٦. قم بحساب كلا من المصفوفة $N = A^T P A$ والمتجهة $U = A^T P W$
٧. تحقيق: N يجب أن تكون متماثلة.
٨. قم بحساب مقلوب المصفوفة N
٩. قم بحساب قيمة المتجه $X^{\wedge} = - N^{-1} U$
١٠. قم بحساب الأخطاء المتبقية المضبوطة $V^{\wedge} = A X^{\wedge} + W$
١١. تحقيق: $A^T P V^{\wedge} = 0$
١٢. قم بحساب القيم المضبوطة للعناصر المجهولة $\bar{X} = X^0 + X^{\wedge}$
١٣. قم بحساب القيم المضبوطة للأرصاد $\bar{L} = L + V^{\wedge}$
١٤. قم بحساب القيمة المضبوطة لمعامل التباين $\hat{\sigma}_0^2$
١٥. قم بحساب مصفوفة التباين المضبوط بين العناصر المجهولة $\hat{\Sigma}_{\bar{X}}$
١٦. قم بحساب مصفوفة التباين المضبوط بين الأرصاد $\hat{\Sigma}_{\bar{L}}$

طريقة أخري لتكوين نظام المعادلات الأصولية:

يمكن تكوين نظام المعادلات الأصولية بصورة أخري دون الاعتماد علي حساب قيم تقريبية للعناصر المجهولة كالتالي (أنظر مرجع Dawod 1991):

$$(A^T P A) \bar{X} + (A^T P \bar{L})= 0$$

i.e.,

$$N \bar{X} + C = 0$$

where

$$C = A^T P \bar{L}$$

حيث:
تم استخدام متجه الأرصاد الأصلية $\bar{L}$ بدلا من متجهة الأخطاء المتبقية W، وأيضا $\bar{X}$ سيمثل متجه القيم المضبوطة للعناصر المجهولة مباشرة (وليس الفرق بينها وبيت قيمها التقريبية)

أما حل هذه المعادلة فيكون:

$$\bar{X} = N^{-1} C = (A^T P A)^{-1} (A^T P \bar{L})$$

وفي هذه الحالة فأن الأرصاد المضبوطة يتم حسابها من المعادلة:

$\bar{L} = A\,\bar{X}$

ويتم حساب الأخطاء المتبقية المضبوطة كالتالي:

$V^{\wedge} = \bar{L} - A\,X^{\wedge}$

٨-٥-٢ ضبط أقل المربعات للمعادلات غير الخطية

تعتمد نظرية أو طريقة ضبط أقل مجموع المربعات - في أساسها - علي المعادلات الرياضية الخطية فقط Linear Equations. في المثال السابق كانت معادلات الرصد من النوع الخطي (الدرجة الأولي وبدون أية أسس رياضية) وهذه هي الحالة العامة لشبكات الروبيرات و شبكات الجاذبية الأرضية وحتى شبكات الجي بي أس. ففي شبكات الجي بي أس تكون الأرصاد هي فروق الإحداثيات بين طرفي كل خط قاعدة base line بينما تكون العناصر المجهولة هي إحداثيات طرفي خط القاعدة، أي أن معادلات الرصد الثلاثة لكل خط قاعدة تكون:

$\Delta X = X_2 - X_1$

$\Delta Y = Y_2 - Y_1$

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

أي أنها معادلات خطية.

لكن هناك الكثير من التطبيقات المساحية التي بها تكون العلاقة الرياضية بين الأرصاد و العناصر المجهولة (المطلوب حسابها) ليست علاقة خطية من الدرجة الأولي. ولتطبيق طريقة ضبط مجموع أقل مربعات يجب تحويل هذه العلاقة (معادلة الرصد) إلي النوع الخطي وهذه العملية تسمي **التحويل الخطي أو Linearization**. تتم عملية التحويل الخطي من خلال تطبيق ما يعرف بمجموعة امتدادات تايلور Taylor expansion series، لأي معادلة غير خطية F في المجهول X فيمكن تحويلها لمعادلة خطية من خلال:

$$F(X) = a_0 + a_1 (x-x_o) + a_2 (x-x_o)^2 + a_3 (x-x_o)^3 + \ldots\ldots$$

where,

$a_0 = F(x_0)$

$a_1 = \delta F(X) / \delta X$

$a_2 = 0.5\ (\delta^2 F(X) / \delta^2 X)$

$a_3 = (1/6)\ (\delta^3 F(X) / \delta^3 X)$

أي أن الصورة الخطية للمعادلة (غير الخطية) تتكون من حاصل جمع مجموعة من العناصر حيث العنصر الأول هو قيمة المعادلة نفسها عند القيمة التقريبية للعنصر x_0 والعنصر الثاني عبارة عن التفاضل الأول للمعادلة بالنسبة للعنصر المجهول X والعنصر الثالث هو نصف التفاضل الثاني للمعادلة .... وهكذا.

بالطبع فأن تطبيق نظرية تايلور سيكون معقدا ويحتاج لخطوات حسابية كثيرة، ولذلك فأن عملية التحويل الخطي Linearization في الضبط المساحي تكتفي بحساب أول عنصرين فقط من عناصر النظرية. ونتيجة إهمال باقي العناصر فستكون قيمة المتجه المضبوط للعناصر

المجهولة $X^\wedge$ غير دقيقة ولذلك سنستعمل هذا المتجهة – مرة أخري – كما لو كان هو متجه القيم التقريبية X^o ثم نعيد خطوات الضبط مرة أخري (وخاصة قيمة متجه الأخطاء المتبقية W). وتستمر هذه العملية التكرارية iteration عدة مرات حتى يكون الفرق (في قيمة $X^\wedge$) بين تكرارين متتاليين قيمة صغيرة جدا فنأخذ قيمة المتجه $X^\wedge$ الأخير ليكون هو النتيجة النهائية لقيم العناصر المجهولة (لاحظ أننا لا نحتاج للعملية التكرارية في حل المعادلات الخطية).

أمثلة للمعادلات غير الخطية في المساحة و الجيوديسيا:

١- معادلة المسافة المقاسة بين نقطتين:

المعادلة الأصلية غير الخطية:

$$D_{jk} = \sqrt{[(X_k - X_j)^2 + (Y_k - Y_j)^2]}$$

حيث: D_{jk} المسافة (الرصدة) بين النقطة المعلومة الإحداثيات j والنقطة المجهولة الإحداثيات k، أي أن العناصر المجهولة هنا ستكون إحداثيات النقطة الثانية (X_k , Y_k).

المعادلة الخطية بالنسبة للاحداثي X للنقطة k (أي العنصر في مصفوفة المعاملات A المقابل للمجهول X_k):

$$\delta D_{jk} / \delta X_k = (X^o_k - X_j) / D_{jk}$$

المعادلة الخطية بالنسبة للاحداثي Y للنقطة k (أي العنصر في مصفوفة المعاملات A المقابل للمجهول Y_k):

$$\delta D_{jk} / \delta Y_k = (Y^o_k - Y_j) / D_{jk}$$

حيث:

(X^o_k , Y^o_k) الإحداثيات التقريبية للنقطة المجهولة K
(X_j , Y_j) الإحداثيات الحقيقية للنقطة المعلومة J
D_{jk} المسافة المقاسة بين النقطتين.

٢- معادلة الانحراف المقاس بين نقطتين:

المعادلة الأصلية غير الخطية:

$$\alpha = \tan^{-1} [(X_k - X_j) / (Y_k - Y_j)]$$

حيث: α الانحراف المقاس (الرصدة) بين النقطة المعلومة الإحداثيات j والنقطة المجهولة الإحداثيات k، أي أن العناصر المجهولة هنا ستكون إحداثيات النقطة الثانية (X_k , Y_k).

المعادلة الخطية بالنسبة للاحداثي X للنقطة k (أي العنصر في مصفوفة المعاملات A المقابل للمجهول X_k):

$$\delta \alpha / \delta X_k = (Y^o_k - Y_j) / (d^o_{jk})^2$$

المعادلة الخطية بالنسبة للاحداثي Y للنقطة k (أي العنصر في مصفوفة المعاملات A المقابل للمجهول Y_k):

$$\delta \alpha / \delta Y_k = - (X^o_k - X_j) / (d^o_{jk})^2$$

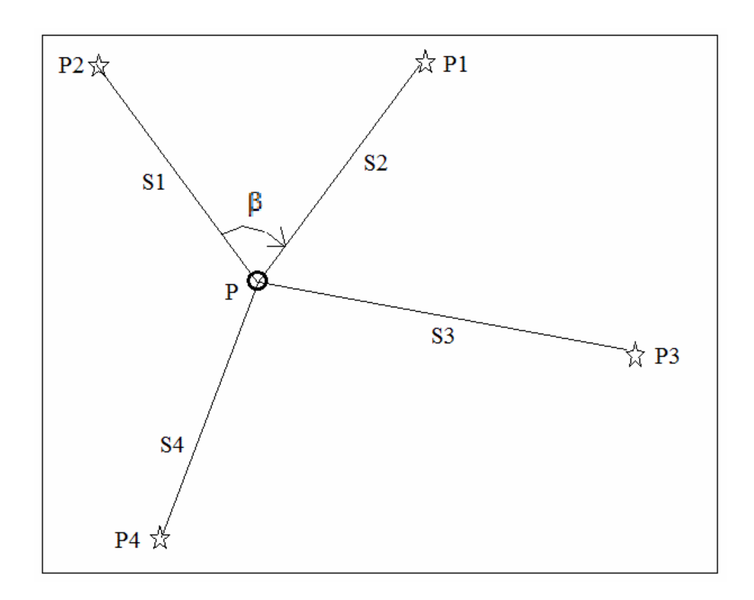
حيث:

(X^o_k , Y^o_k) الإحداثيات التقريبية للنقطة المجهولة K
(X_j , Y_j) الإحداثيات الحقيقية للنقطة المعلومة J

$$d^o_{jk} = (X^o_k - X_j)^2 + (Y^o_k - Y_j)^2$$

مثال لضبط الأرصاد غير الخطية:

في الشكل التالي تم قياس ٤ مسافات أفقية (المسافات S1, S2, S3, S4) من النقاط المعلومة P1, P2, P3, P4 إلي النقطة المجهولة P (المطلوب حساب إحداثياتها) كما تم قياس الزاوية الأفقية P1 P P2 (أنظر مرجع Uotila 1986):



شكل (٨-٥) مثال لضبط الأرصاد غير الخطية

كانت القياسات (الأرصاد) كالتالي:

م	الرصدة	القيمة	الانحراف المعياري
١	S1	٢٤٤.٥١٢ متر	± ٠.٠١٢ متر
٢	S2	٣٢١.٥٧٠ متر	± ٠.٠١٦ متر
٣	S3	٧٧٣.١٥٤ متر	± ٠.٠٣٨ متر
٤	S4	٢٧٩.٩٩٢ متر	± ٠.٠١٤ متر
٥	β	١٢٣° ٣٨' ١.٤"	± ٢"

كانت القيم المعلومة لإحداثيات نقاط الثوابت الأرضية كالتالي:

نقطة رقم	الاسم	X (meter)	Y (meter)
١	P1	٨٤٢.٢٨١	٩٢٥.٥٣٢
٢	P2	١٣٣٧.٥٤٤	٩٩٦.٢٤٩
٣	P3	١٨٣١.٧٢٧	٧٢٣.٩٦٢
٤	P4	٨٤٠.٤٠٨	٦٥٨.٣٤٥

أما القيم التقريبية لإحداثيات النقطة المجهولة P فيمكن اعتبارها كالتالي:

$X^o = 1062.2$ m
$Y^o = 825.2$ m

عدد الأرصاد n = ٥
عدد القيم المجهولة u = ٢
درجات الحرية df (n –u) = ٥ – ٢ = ٣

متجه الأرصاد:

$$\overline{L} = \begin{bmatrix} S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ \beta \end{bmatrix}$$

متجه العناصر المجهولة:

$$\overline{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

معادلات الأرصاد الأصلية غير الخطية (مع ملاحظة أن الزاوية المقاسة هي الفرق بين الاتجاه الأفقي P P2 و الاتجاه الأفقي P P1) :

$S1 = [\ (X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2\ )\ ]^{0.5}$
$S2 = [(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2\ )\ ]^{0.5}$
$S3 = [\ (X_3 - X)^2 + (Y_3 - Y)^2\ )\ ]^{0.5}$
$S4 = [\ (X_4 - X)^2 + (Y_4 - Y)^2\ )\ ]^{0.5}$
$\beta = \tan^{-1} [(X_2 - X) / (Y_2 - Y)\ ] - \tan^{-1} [(X_1 - X) / (Y_1 - Y)\ ]$

مصفوفة المعاملات A (التي ستحتوي معاملات الأرصاد بعد تحويلها إلي الصورة الخطية) ستكون:

$$A = \begin{bmatrix} \delta S1 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta S2 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta S3 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta S4 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta \beta / \delta X & \delta \beta / \delta Y \end{bmatrix}$$

سيتم حساب قيم معاملات المصفوفة A بالتعويض: $X = X^o$ و $Y = Y^o$. كما سيتم حساب القيم التقريبية للأرصاد بالتعويض المباشر في معادلات الرصد (غير الخطية) مع استخدام القيم التقريبية لإحداثيات النقطة المجهولة:

$S1^o = [\ (X_1 - X^o)^2 + (Y_1 - Y^o)^2\ )\ ]^{0.5} = 244.454$ m
$S2^o = [\ (X_2 - X^o)^2 + (Y_2 - Y^o)^2\ )\ ]^{0.5} = 321.604$ m
$S3^o = [\ (X_3 - X^o)^2 + (Y_3 - Y^o)^2\ )\ ]^{0.5} = 773.184$ m
$S4^o = [\ (X_4 - X^o)^2 + (Y_4 - Y^o)^2\ )\ ]^{0.5} = 279.950$ m
$\beta = \tan^{-1} [(X_2 - X^o) / (Y_2 - Y^o)\ ] - \tan^{-1} [(X_1 - X^o) / (Y_1 - Y^o)\ ]$
$= 123^0\ 38'\ 19.87''$

و بذلك سيكون متجه الأخطاء المتبقية:

$$W = L^0 - L = \begin{bmatrix} 244.454 \\ 321.604 \\ 773.184 \\ 279.950 \\ 19.87'' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 244.512 \\ 321.570 \\ 773.154 \\ 279.992 \\ 01.40'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.058 \\ 0.034 \\ 0.030 \\ -0.042 \\ 18.47'' \end{bmatrix}$$

ولحساب معاملات المصفوفة A:

$\delta S_1 / \delta X = (X_1 - X^o) / S_1^o = \ \ 0.911907$
$\delta S_1 / \delta Y = (Y_1 - Y^o) / S_1^o = -\ 0.410397$

$\delta S_2 / \delta X = (X_2 - X^o) / S_2^o = -\ 0.846831$
$\delta S_2 / \delta Y = (Y_2 - Y^o) / S_2^o = -\ 0.531862$

$\delta S_3 / \delta X = (X_3 - X^o) / S_3^o = -0.991291$
$\delta S_3 / \delta Y = (Y_3 - Y^o) / S_3^o = 0.130937$

$\delta S_4 / \delta X = (X_4 - X^o) / S_4^o = 0.802972$
$\delta S_4 / \delta Y = (Y_4 - Y^o) / S_4^o = 0.596017$

$\delta\beta/\delta X = [(Y_1 - Y^o) / (S_1^o)^2] - [(Y_2 - Y^o) / (S_2^o)^2] = 2.505347 \times 10^{-5}$ m
$\delta\beta/\delta Y = [(X_1 - X^o) / (S_1^o)^2] - [(X_2 - X^o) / (S_2^o)^2] = 6.363532 \times 10^{-3}$ m

حيث أن وحدات السطر الأخير من المصفوفة A بالمتر بينما وحدات السطر الأخير من المتجه W بوحدات الثانية، فيجب ضرب السطر الأخير من A في الرقم ٢٠٦٢٦٤.٨ (رقم ثابت يعادل قيمة مقلوب جا ١").

بذلك فتكون مصفوفة المعاملات A كالتالي:

$$A = \begin{bmatrix} 0.911907 & -0.410397 \\ -0.846831 & -0.531862 \\ -0.991391 & 0.130937 \\ 0.802972 & 0.596017 \\ 5.16765 & 1312.574 \end{bmatrix}$$

يتم تكوين مصفوفة التباين للأرصاد الأصلية بحيث تتكون عناصر قطرها من التباين (مربع الانحراف المعياري) للأرصاد:

$$\Sigma_{\overline{L}} = \begin{bmatrix} (0.012)^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (0.016)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (0.038)^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (0.014)^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (2)^2 \end{bmatrix}$$

و بفرض أن قيمة σ^2_o = ١ فأن مصفوفة الوزن ستكون كالتالي:

$$P = \begin{bmatrix} 1/(0.012)^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/(0.016)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/(0.038)^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/(0.014)^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/(2)^2 \end{bmatrix}$$

نقوم بتكوين نظام المعادلات الأصولية:

$$N = A^T P A = \begin{bmatrix} 12553.01962 & 3208.04304 \\ 3208.04304 & 434811.54111 \end{bmatrix}$$

$$U = A^T P W = \begin{bmatrix} -649.618710 \\ 6031.984978 \end{bmatrix}$$

ويكون متجه القيم المضبوطة لفرق قيمة المجاهيل عن قيمتها التقريبية:

$$\hat{X} = - N^{-1} U = \begin{bmatrix} 0.055400 \\ -0.014281 \end{bmatrix} \text{ m}$$

وبذلك فأن متجه القيم المضبوطة للمجاهيل (الحل) فيكون:

$$\bar{X} = X^o + \hat{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10965.2554 \\ 825.1867 \end{bmatrix} \text{ m}$$

أما متجه القيم المضبوطة للأخطاء المتبقية فيكون:

$$\hat{V} = A \hat{X} + W = \begin{bmatrix} 0.00197 \text{ m} \\ 0.00550 \text{ m} \\ 0.02726 \text{ m} \\ 0.00597 \text{ m} \\ -0.27'' \end{bmatrix}$$

أما متجه القيم المضبوطة للأرصاد فيكون:

$$\bar{L} = L + \hat{V} = \begin{bmatrix} 244.510 \text{ m} \\ 321.564 \text{ m} \\ 773.127 \text{ m} \\ 279.986 \text{ m} \\ 123^\circ 38' 01.13'' \end{bmatrix}$$

ويتم حساب القيمة المضبوطة لمعامل التباين Adjusted Variance Factor كالتالي:

$$\hat{\sigma}_o^2 = \hat{V}^T \ P \ \hat{V} \ / \ (n - u)$$
$$= 0.8436 / 3$$
$$= 0.2812$$

أما مصفوفة التباين المضبوط بين العناصر المجهولة-Adjusted Variance Covariance Matrix of Adjusted Parameters فيتم حسابها كالتالي:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{X}} = \sigma_0^2 \; N^{-1} = 0.2812 \begin{bmatrix} 79.81 & -0.59 \\ -0.59 & 2.304 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 22.44 & -0.17 \\ -0.17 & 0.65 \end{bmatrix}$$

إذا أردنا حساب قيمة الانحراف المعياري المضبوط لقيم العناصر المجهولة فنأخذ الجذر التربيعي لعناصر القطر (قيم التباين) لهذه المصفوفة.

$\hat{\sigma}_X = \sqrt{22.44} = 4.74$ mm
$\hat{\sigma}_Y = \sqrt{0.65} = 0.81$ mm

وبالتالي فأن القيم المضبوطة للعناصر المجهولة (إحداثيات نقطة P) تكون كالتالي:

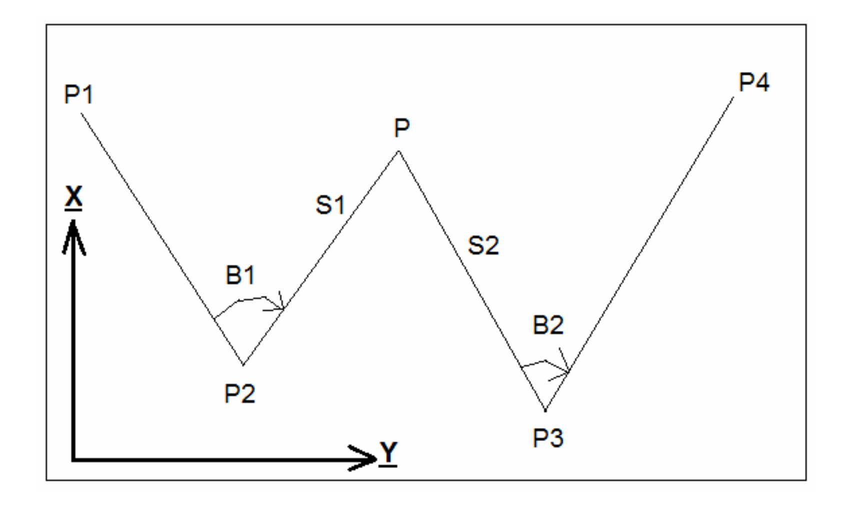
X = 10965.2554 ± 0.00474 m
Y = 825.1867 ± 0.0081 m

مثال آخر:

المثال التالي غير مشروح تفصيليا (مثل المثالين السابقين) وعلي الطالب أن يقوم بعمل خطوات الحل بنفسه ليصل للنتائج المعطاة هنا. يجب علي الطالب أن يلاحظ (في الشكل التالي) أن المحاور معكوسة، بمعني أن محور X هو الاتجاه الشمالي في المثال الحالي ومحور Y هو الاتجاه الشرقي، وبالتالي فأن معادلات الرصد ستتغير عن المثال السابق.

تم إجراء بعض القياسات لحساب إحداثيات النقطة المجهولة P كالآتي:

رقم	الاسم	القيمة المرصودة	الانحراف المعياري
١	زاوية B1	٩٠° ٠٠' ١٠"	١٠"
٢	زاوية B2	٨٩° ٥٩' ٥٥"	١٠"
٣	المسافة S1	٧٠٧.٠٠ متر	٠.٠٥٣ متر
٤	المسافة S2	٤٢٤.١٥ متر	٠.٠٤١ متر



شكل (٨-٦) مثال ٢ لضبط الأرصاد غير الخطية

النقطة	X متر	Y متر
P1	٧٠٠.٠٠	٣٠٠.٠٠
P2	٣٠٠.٠٠	٧٠٠.٠٠
P3	٥٠٠.٠٠	١٥٠٠.٠٠
P4	١٠٠٠.٠٠	٢٠٠٠.٠٠

أما الإحداثيات التقريبية للنقطة المجهولة P فكانت:

$X^0 = 800.00, Y^o = 1200.00$ m

بعض نتائج الحل:

معادلات الرصد الأصلية غير الخطية:

$$B1 = \tan^{-1} [(Y^o - Y_2) / (X^o - X_2)] - \tan^{-1} [(Y^o - Y_1) / (X^o - X_1)]$$
$$B2 = \tan^{-1} [(Y_4 - Y_3) / (X_4 - X_3)] - \tan^{-1} [(Y^o - Y_3) / (X^o - X_3)]$$
$$S1 = [(X^o - X_2)^2 + (Y^o - Y_2)^2]^{0.5}$$
$$S2 = [(X^o - X_3)^2 + (Y^o - Y_3)^2]^{0.5}$$

القيم التقريبية للأرصاد:

$$L^0 = \begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ S1 \\ S2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 90^\circ 00' \; 00'' \\ 90^\circ 00' \; 00'' \\ 707.11 \text{ m} \\ 424.27 \text{ m} \end{bmatrix}$$

الأخطاء المتبقية:

$$V = \begin{bmatrix} -10'' \\ +5'' \\ 0.11 \text{ m} \\ 0.12 \text{ m} \end{bmatrix}$$

مصفوفة المعاملات:

$$A = \begin{bmatrix} \delta B1 / \delta X & \delta B1 / \delta Y \\ \delta B2 / \delta X & \delta B2 / \delta Y \\ \delta S1 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta S2 / \delta X & \delta S2 / \delta Y \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} -206 & 206 \\ -344 & -344 \\ 0.707 & 0.707 \\ 0.707 & -0.707 \end{bmatrix}$$

مع ملاحظة أن عناصر الصفين الأول و الثاني في المصفوفة A قد تم ضربهما في الثابت ٢٠٦٢٦٤.٨ لتناسب وحداتهم مع وحدات المتجه W.

مصفوفة الوزن:

$$P = \begin{bmatrix} 0.01 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 356 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 595 \end{bmatrix}$$

علما بأنه قد تم اختيار قيمة $\sigma^2_o = 1$

نظام المعادلات الأصولية:

$$N = A^T P A = \begin{bmatrix} 2083 & 639 \\ 639 & 2083 \end{bmatrix}$$

$$U = A^T P W = \begin{bmatrix} 81.57 \\ -60.59 \end{bmatrix}$$

متجه الحل لفروق القيم المجهولة عن قيمها التقريبية:

$$\hat{X} = -N^{-1} U = \begin{bmatrix} -0.053 \\ 0.045 \end{bmatrix} \quad m$$

وبذلك يكون متجه الحل (إحداثيات النقطة المجهولة P):

$$\bar{X} = X^o + \hat{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 799.947 \\ 1200.045 \end{bmatrix} \quad m$$

٨-٥-٣ ضبط أقل المربعات لمعادلات الشرط

تعتمد هذه الطريقة من طرق ضبط مجموع أقل المربعات علي تحقيق مجموعة من الشروط conditions أو القيود constrains علي الأرصاد. يكون عدد هذه الشروط مساويا لعدد الأرصاد الزائدة عن الحاجة redundant observations المتوفرة بمجموعة الأرصاد. فعلي سبيل المثال يمكن حل أي مثلث مستوي إذا عرفنا ٣ أرصاد به (زاويتين وضلع أو ضلعين و زاوية ... الخ) وهذا ما نسميه الأرصاد المحتاجين إليها أو الأرصاد الضرورية necessary observations، فإذا رصدنا الرصدة الرابعة (الزاوية الثالثة مثلا) فستكون رصدة زائدة عن الحاجة وبالتالي سيكون هناك شرط أو قيد (تحقيق حسابي) يجب تحقيقه (مجموع زوايا المثلث يجب أن تساوي ١٨٠°). يختلف عدد الأرصاد الضرورية (الأرصاد المحتاجين إليها) طبقا لنوع العمل المساحي نفسه (ترافرس، ميزانية، مثلثات .... الخ). القاعدة العامة أن:

$$r = df = n - n_{nec} = n - u$$

حيث:

r عدد الشروط المستقلة independent conditions
df درجات الحرية
n عدد الأرصاد
n_{nec} عدد الأرصاد الضرورية
u عدد القيم المجهولة

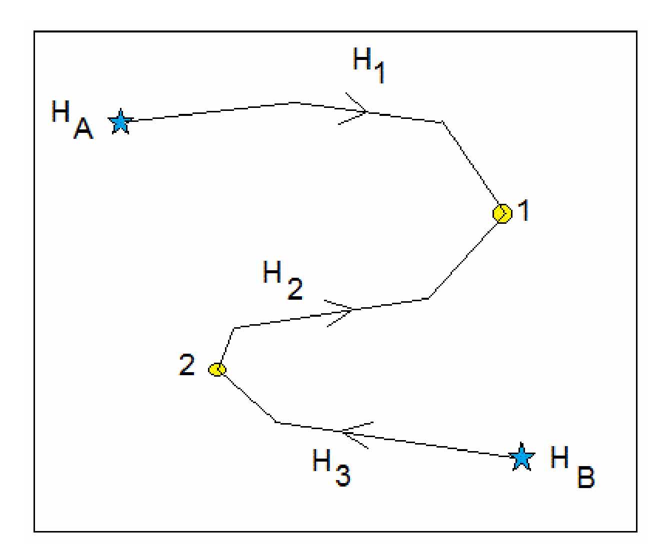
تجدر الإشارة إلي أن معادلات الشروط (أو الاشتراطات) تتكون من الأرصاد فقط و لا تدخل في تكوينها القيم المجهولة المطلوب حسابها. وعند تنفيذ طريقة الضبط الشرطي Conditional Adjustment يتم أولا تحقيق هذه الاشتراطات للحصول علي الأرصاد المضبوطة ثم في الخطوة التالية يتم حساب قيم العناصر المجهولة.

أمثلة للمعادلات الشرطية فى العمل المساحى:

يعتمد تكوين معادلات الشرط علي طبيعة العمل المساحي وعلي توزيع الأرصاد ذاتها في الشبكة، أي أنه لا يوجد طريقة آلية لتكوين معادلات الشروط وعلي الراصد أن يكونها بنفسه في كل عمل مساحي يقوم بتنفيذه (بعكس طريقة معادلات الرصد التي يمكن تكوينها آليا بسهولة). سنقدم هنا بعض أمثلة لكيفية تكوين معادلات الاشتراطات:

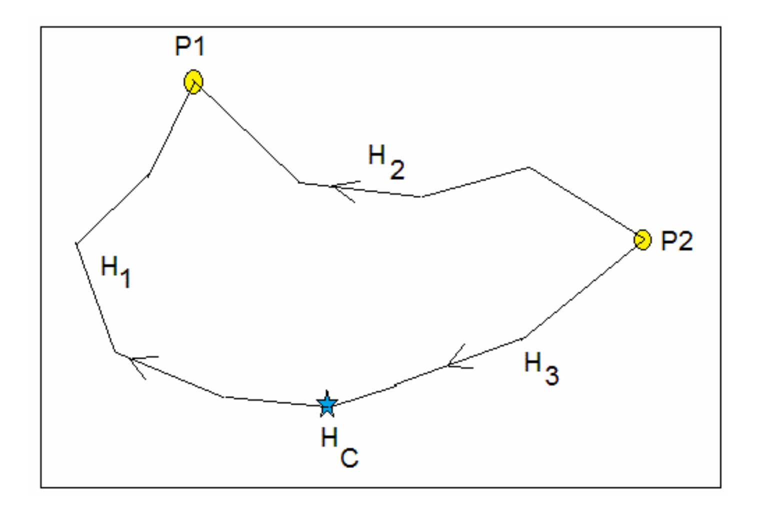
(أ) في شبكات الروبيرات:

في حالة خط ميزانية معلوم منسوب روبير BM بدايته و نهايته (أنظر الشكل) فأن مجموع فروق المناسيب للخطوط (مع مراعاة الإشارات) يجب أن يساوي فرق المنسوب بين الروبيرين، أي أن معادلة الشرط تكون:



$$H_1 - H_2 - H_3 + (H_B - H_A) = 0$$

في حالة حلقة خطوط ميزانية (أنظر الشكل) فأن معادلة الشرط تنص علي أن المجموع الجبري لفروق الميزانية (مع مراعاة الإشارات) يساوي صفر:

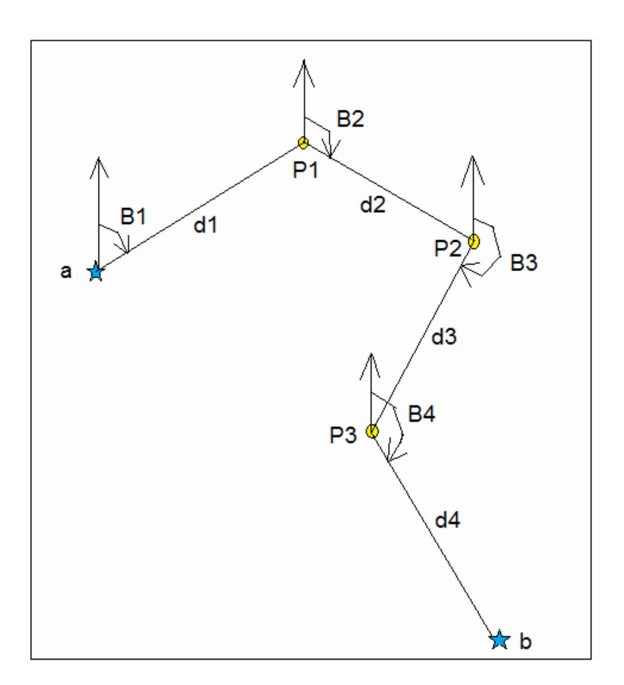


$$H_1 – H_2 + H_3 = 0$$

يمكن استنتاج أن معادلات الشرط في شبكات الميزانية تكون من النوع الخطي (معادلات درجة أولي)، وكذلك ستكون حالة شبكات الجاذبية الأرضية و شبكات الجي بي أس.

(ب) في شبكات الترافرس:

للترافرس الموصل (يربط بين نقطتين معلومتين الإحداثيات) فيوجد شرطين أحدهما لفرق الإحداثيات السينية و الآخر لفرق الإحداثيات الصادية (أنظر الشكل). في كل شرط فأن القاعدة أن مجموع فروق الإحداثيات (سواء السينية أو الصادية) يساوي فرق الإحداثيات بين النقطتين المعلومتين:



$$\Sigma^4_{i=1} \Delta X_I – (X_b – X_a) = 0$$

$\Sigma^4_{i=1} \Delta Y_I - (Y_b - Y_a) = 0$

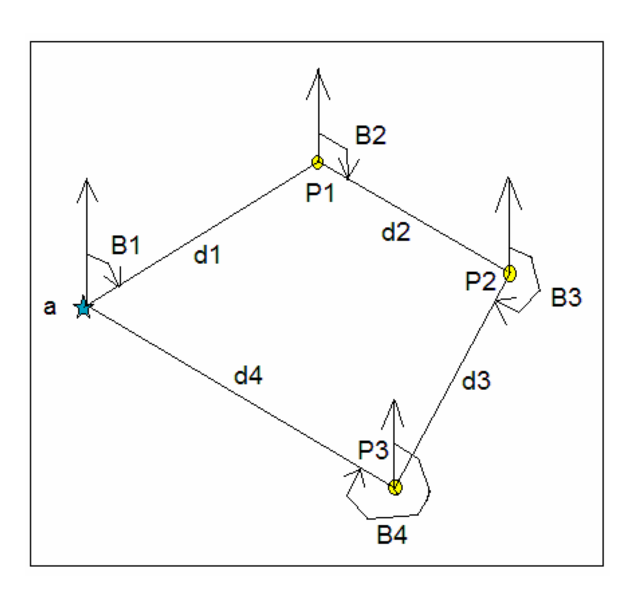
حيث علامة Σ هنا تدل علي المجموع، (X_a , Y_a) إحداثيات النقطة المعلومة a و (X_b , Y_b) إحداثيات النقطة المعلومة b.

و حيث أن فروق الإحداثيات لأي خط يتم حسابها من الأرصاد الأصلية للترافرس (زوايا و انحرافات) فأن معادلتي الشرط يمكن إعادة كتابتهما كالتالي:

$\Sigma^4_{i=1} d_I \sin B_I - (X_b - X_a) = 0$

$\Sigma^4_{i=1} d_I \cos B_I - (Y_b - Y_a) = 0$

أما في حالة الترافرس المغلق فأن معادلتي الشرط ستكونان:

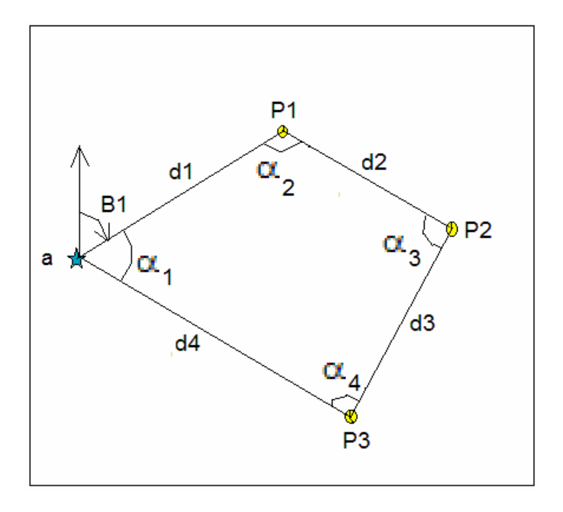


$\Sigma^4_{i=1} d_I \sin B_I = 0$

$\Sigma^4_{i=1} d_I \cos B_I = 0$

تجدر ملاحظة أن المعادلتين السابقتين ليستا معادلات خطية.

أما إذا كانت الأرصاد في الترافرس المغلق هي المسافات و الزوايا الداخلية (α) مع وجود انحراف واحد معلوم فستوجد معادلة شرط ثالثة لمجموع الزوايا الداخلية:



$$\Sigma^4_{i=1} \alpha_i - k = 0$$

حيث K ثابت يعتمد علي عدد نقاط الترافرس S ويتم حسابه كالتالي:

$$K = (2S - 4) \times 90^o$$

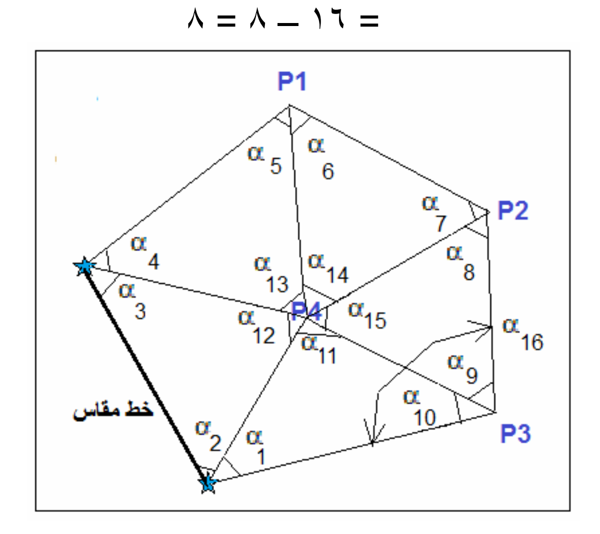
ففي الشكل السابق فأن عدد نقاط الترافرس S = ٤ وبالتالي فأن قيمة K = ٣٦٠°، أي أن معادلة الشرط الثالثة لهذا الشكل هي أن مجموع الزوايا الداخلية يجب أن يساوي ٣٦٠°.

(ج) في شبكات المثلثات:

بصفة عامة: في شبكات المثلثات مقيسة الزوايا Triangulations فأن: عدد الأرصاد الضرورية = ضعف عدد النقاط المجهولة.

في الشكل التالي:

عدد النقاط المجهولة = ٤
عدد الأرصاد الضرورية = ٢ × ٤ = ٨
الأرصاد الزائدة (عدد الشروط المستقلة) = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية
= ١٦ – ٨ = ٨



تتكون الشروط الثمانية من: ٥ شروط مثلثيه + ٢ شرط محلي + ١ شرط ضلعي كالتالي:

الشروط المثلثية:

لكل مثلث مغلق فأن معادلة الشرط المثلثي تكون أن مجموع زوايا يجب أن يساوي ١٨٠° زائد الزيادة الكروية spherical excess (ε) حيث أنه مثلث كروي وليس مثلث مستوي. مثلا:

$$\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_{12} - (180^o + \varepsilon) = 0$$

الشروط المحلية:

تتعلق هذه الشروط بالأرصاد الزائدة عند أي نقطة، فمثلا عند أي نقطة تم قياس جميع الزوايا لقفل الأفق فأن مجموع هذه الزوايا يجب أن يساوي ٣٦٠° كما هو الحال عند النقطة P4 في الشكل. أيضا عند النقطة P3 تم قياس زاوية غير ضرورية (الزاوية ١٦) وهي مجموع الزاويتين ٩ و ١٠. وبذلك فأن معادلتي الشرطين المحليين في الشكل السابق هما:

$$\alpha_9 + \alpha_{10} - \alpha_{16} = 0$$
$$\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{14} + \alpha_{15} - 360^o = 0$$

الشرط الضلعي:

طالما يوجد ضلع (مسافة) مقاس طوله في شبكة المثلثات فيوجد شرط يسمي الشرط الضلعي وهو أن مجموع لوغاريتمات جيب الزوايا الفردية (للشكل الخارجي فقط) يجب أن يساوي مجموع لوغاريتمات جيب الزوايا الزوجية. أي أن معادلة الشرط الضلعي ستكون:

$$[\log \sin \alpha_1 + \log \sin \alpha_3 + \log \sin \alpha_5 + \log \sin \alpha_7 + \log \sin \alpha_9] - [\log \sin \alpha_2 + \log \sin \alpha_4 + \log \sin \alpha_6 + \log \sin \alpha_8 + \log \sin \alpha_{10}] = 0$$

تجدر ملاحظة أن المعادلة الشرطية السابقة ليست معادلة خطية بينما معادلات الشروط المثلثية و الشروط المحلية معادلات خطية. كما أن عدد المعادلات الشرطية في شبكة المثلثات (٨) أقل من عدد الأرصاد الفعلية (١٦) مما يعطي ميزة حسابية لطريقة الضبط بمعادلات الاشتراطات عن الضبط بمعادلات الأرصاد في حالة شبكات المثلثات.

معادلات الضبط الشرطي:

بعد تحويل معادلات الشروط إلي الحالة الخطية (إن كانت غير خطية في أساسها) فيمكن كتابة الصورة العامة لمعادلات الشروط كالتالي:

$$B_{r,n} \hat{V}_{n,1} + W_{r,1} = 0$$

حيث:

$\hat{V}$ متجه الأخطاء المضبوطة (n من الصفوف)

W متجه الأخطاء المتبقية (r من الصفوف)
B مصفوفة معاملات معادلات الشروط (الخطية) وتتكون من r من الصفوف (عدد الشروط) و n من الأعمدة (عدد الأرصاد). أي أن كل عنصر من عناصر المصفوفة B هو التفاضل الأول لمعادلة الشرط بالنسبة لرصده من الأرصاد:

$$B_{r,n} = \begin{bmatrix} \frac{\delta f1}{\delta l1} & \frac{\delta f1}{\delta l2} & \cdots\cdots & \frac{\delta f1}{\delta ln} \\ \frac{\delta f2}{\delta l1} & \frac{\delta f2}{\delta l2} & \cdots\cdots & \frac{\delta f2}{\delta ln} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\delta fr}{\delta l1} & \frac{\delta fr}{\delta l2} & \cdots\cdots & \frac{\delta fr}{\delta ln} \end{bmatrix}$$

أما نظام المعادلات الأصولية Normal Equation System لطريقة الضبط الشرطي فيكون في صورة:

$$M_{r,r}\ K_{r,1} + W_{r,1} = 0$$

where,

$$M = B\ P^{-1}\ BT$$

حيث P هي مصفوفة الوزن للأرصاد الأصلية.

أما المتجه K فيسمي متجه الارتباط Vector of Correlate أو معامل ضرب لاجرانج Lagrange Multiplier حيث ابتكره العالم لاجرانج لحل مشكلة أن مصفوفة المعاملات B هي مصفوفة مستطيلة بما أن عدد صفوفها لا يساوي عدد أعمدتها (وليست مربعة مثل حالة المصفوفة A في طريقة الضبط بمعادلات الأرصاد) ولا يمكن إيجاد مقلوبها B^{-1}.

أما خطوات حل نظام المعادلات الأصولية فتتكون من:

$$K = -\ M^{-1}\ W$$

$$\hat{V} = -\ P^{-1}\ B^{T}\ K = (\ B\ P^{-1}\ B^{T}\ )^{-1}\ \ W$$

$$\overline{L} = L + \hat{V}$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T P\ V}{r}$$

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = \hat{\sigma}_o^2 \, [P^{-1} - (P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1})]$$

وبذلك نحصل علي الأرصاد المضبوطة $\bar{L}$ ومصفوفة التباين لها $\hat{\Sigma}_{\bar{L}}$ بالإضافة لقيمة معامل التباين بعد الضبط $\hat{\sigma}_o^2$.

أما لحساب القيم المضبوطة للعناصر المجهولة فنقوم باستخدام الأرصاد المضبوطة في تكوين معادلات تربط بينها و بين العناصر المجهولة، ولتكن مثلا في صورة:

$$\hat{X} = F1(\bar{L})$$

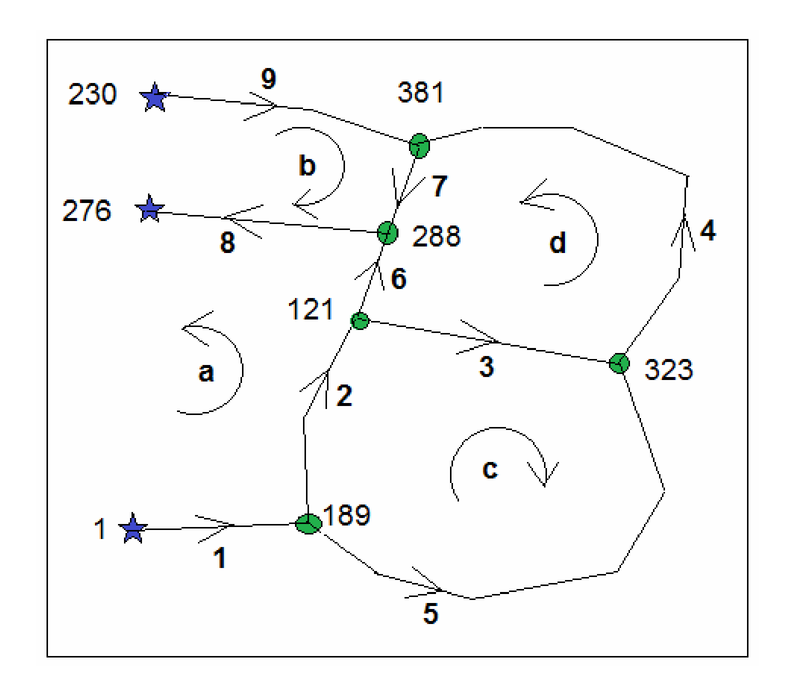
فإذا أخذنا التفاضل الأول لهذه المعادلات F1 بالنسبة للأرصاد (لنسميها المصفوفة G) فيمكن حساب مصفوفة التباين للعنصر المجهولة:

$$G = \delta F1 / \delta L$$

$$\hat{\Sigma}_{\hat{X}} = G \; \hat{\Sigma}_{\bar{L}} \; G^T$$

مثال للضبط الشرطي لمعادلات خطية:

الشكل التالي يمثل حلقات ميزانيات لعدد ٩ خطوط (أي أن n = 9) تربط بين ٣ نقاط معلومة المنسوب و ٥ نقاط مجهولة المنسوب (أي أن u = 5). إذن عدد الشروط المستقلة = عدد درجات الحرية: r = n – u = 4



شكل (٨-٧) مثال ١ للضبط الشروط الخطية

وكانت الأرصاد وقيم مناسيب الروبيرات المعلومة كالآتي:

الروبير	المنسوب H (متر)
١	٢.٧٩١
٢٧٦	١٩.٣١٦
٢٣٠	٣٣.٨٣١

رصدة رقم L	من روبير	إلي روبير	المسافة (كم)	فرق المنسوب (متر)
١	١	١٨٩	١.١٤	١٠.٠٣٨
٢	١٨٩	١٢١	٢.٨٤	٨.٢٩٧
٣	١٢١	٣٢٣	٣.٢١	١.٩٤٩
٤	٣٢٣	٣٠١	٦.٠٣	٥.٢١٧-
٥	١٨٩	٣٢٣	٦.٧٥	١٠.٢٤٤
٦	١٢١	٢٨٨	٠.٨٤	١.٥٦٢
٧	٣٠١	٢٨٨	٢.٩٤	٤.٨٣٧
٨	٢٨٨	٢٧٦	٢.٠١	٣.٣٧٠-
٩	٢٣٠	٣٠١	٥.٢٨	١٥.٩٧٩-

من حلقات الميزانية بالشكل يمكن اختيار الشروط المستقلة (الأربعة) كالتالي:

من الحلقة a:

$$L_1 + L_2 + L_6 + L_8 - (H_{276} - H_1) = 0$$

من الحلقة b:

$$L_9 + L_7 + L_8 - (H_{276} - H_{230}) = 0$$

من الحلقة c:

$$L_2 + L_3 - L_5 = 0$$

من الحلقة d:

$$L_3 + L_4 + L_7 - L_6 = 0$$

حيث أن معادلات الاشتراطات خطية فيمكن تكوين مصفوفة المعاملات B (٤ صفوف و ٩ أعمدة) كالتالي:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

أما متجهة الفروق W فيتم حسابه من معادلات الاشتراطات وباستخدام قيم الأرصاد المقاسة:

$$W_1 = L_1 + L_2 + L_6 + L_8 - (H_{276} - H_1) = 10.038 + 8.297 + 1.562 - 3.370 - (19.316 - 2.791) = 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

$W_2 = L_9 + L_7 + L_8 - (H_{276} - H_{230}) = -15.979 + 4.837 - 3.370 - (19.316 - 33.831) = 0.003 \text{ m} = 3 \text{ mm}$

$W_3 = L_2 + L_3 - L_5 = 8.297 + 1.949 - 10.244 = 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$

$W_4 = L_3 + L_4 + L_7 - L_6 = 1.949 - 5.217 + 4.837 - 1.562 = 0.007 \text{ m} = 7 \text{ mm}$

أي أن:

$$W = \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 2 \\ 7 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

كما سبق الذكر فأن في شبكات الميزانية يتم اعتبار التباين variance (لكل خط) مساويا لطول الخط ذاته، وبما أن الوزن weight هو مقلوب التباين فأن الوزن لكل خط ميزانية يمكن أخذه مساويا لطول الخط بالكيلومتر. أي أن مصفوفة التباين للأرصاد ΣL = مقلوب مصفوفة الوزن P^{-1} ستكون كالتالي:

$$P^{-1} = \Sigma_L = \begin{bmatrix} 1.14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.84 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3.21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6.03 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.84 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.94 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5.28 \end{bmatrix}$$

نبدأ في خطوات الحل المتتالية:

$$M = (B P^{-1} B^T) = \begin{bmatrix} 6.83 & 2.01 & 2.84 & -0.84 \\ 2.01 & 10.23 & 0 & 2.94 \\ 2.84 & 0 & 12.80 & 3.21 \\ -0.84 & 2.94 & 3.21 & 13.02 \end{bmatrix}$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 0.1850 & -0.0463 & -0.0497 & 0.0347 \\ -0.0463 & 0.1166 & 0.0188 & -0.0339 \\ -0.0497 & 0.0188 & 0.0970 & -0.0314 \\ 0.0347 & -0.0339 & -0.0314 & 0.0944 \end{bmatrix}$$

$$K = -M^{-1} W = \begin{bmatrix} -0.37 \\ -0.06 \\ 0.07 \\ -0.57 \end{bmatrix}$$

$$\hat{V} = -P^{-1} B^T K = \begin{bmatrix} -0.4 \\ -0.9 \\ -1.6 \\ -3.4 \\ -0.5 \\ 0.2 \\ -1.8 \\ -0.9 \\ -0.3 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$\bar{L} = L + \hat{V} = \begin{bmatrix} 10.0376 \\ 8.2962 \\ 1.9474 \\ -5.2204 \\ 10.2435 \\ 1.5622 \\ 4.8352 \\ -3.3709 \\ -15.9793 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\hat{V}^T P \hat{V}}{r} = \frac{4.743}{4} = 1.1857$$

$$\hat{\sigma}_o = \sqrt{1.1857} = 1.09$$

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = \hat{\sigma}_o^2 \left[P^{-1} - \left(P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1} \right) \right]$$

$$= \begin{bmatrix} 1.067 & -0.519 & 0.065 & -0.282 & -0.454 & -0.171 & 0.046 & -0.377 & 0.330 \\ & 1.622 & -0.547 & -0.067 & 1.075 & -0.373 & 0.240 & -0.729 & 0.489 \\ & & 2.233 & -1.447 & 1.687 & 0.250 & -0.536 & 0.231 & 0.305 \\ & & & 3.078 & -1.514 & 0.359 & -1.272 & -0.010 & 1.282 \\ & & & & 2.761 & -0.123 & -0.296 & -0.498 & 0.794 \\ & & & & & 0.820 & 0.211 & -0.276 & 0.065 \\ & & & & & & 2.019 & -0.498 & -1.521 \\ & \text{متماثلة} & & & & & & 1.382 & -0.885 \\ & & & & & & & & 2.406 \end{bmatrix}$$

الآن يمكن حساب القيم المضبوطة لمناسيب النقاط المجهولة باستخدام الأرصاد المضبوطة:

$$\hat{H}_{189} = H_1 + \bar{L}_1 = 12.8286 \text{ m}$$

$$\hat{H}_{121} = H_1 + \bar{L}_1 + \bar{L}_2 = 21.1248 \text{ m}$$

$$\hat{H}_{323} = H_1 + \bar{L}_1 + \bar{L}_5 = 23.0721 \text{ m}$$

$$\hat{H}_{288} = H_{276} - \bar{L}_8 = 22.6869 \text{ m}$$
$$\hat{H}_{301} = H_{230} + \bar{L}_9 = 17.8517 \text{ m}$$

من هذه المعادلات الخمسة نكون المصفوفة G كالتالي:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ثم يمكن حساب قيمة مصفوفة التباين للقيم المجهولة:

$$\hat{\Sigma}_{\hat{X}} = G \ \hat{\Sigma}_{\bar{L}} G^T = \begin{bmatrix} 1.067 & 0.547 & 0.613 & 0.377 & 0.330 \\ 0.547 & 1.650 & 1.169 & 1.106 & 0.820 \\ 0.613 & 1.169 & 2.921 & 0.875 & 1.124 \\ 0.377 & 1.106 & 0.875 & 1.382 & 0.885 \\ 0.330 & 0.820 & 1.124 & 0.885 & 2.406 \end{bmatrix}$$

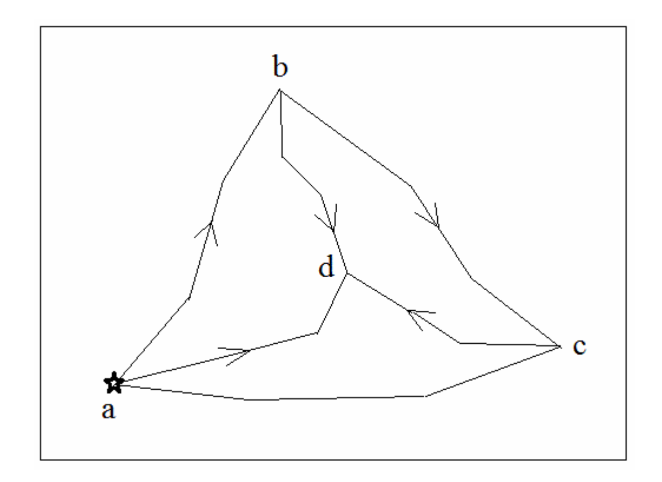
أي أن قيم الانحراف المعياري لمناسيب الروبيرات (الجذر التربيعي لعناصر القطر):

$\sigma_{189} = \sqrt{1.067}$ m
$\sigma_{121} = \sqrt{1.650}$ m
$\sigma_{323} = \sqrt{2.921}$ m
$\sigma_{288} = \sqrt{1.382}$ m
$\sigma_{301} = \sqrt{2.406}$ m

<u>مثال ٢ للضبط الشرطي لمعادلات خطية:</u>

هذا المثال هو السابق حله (أنظر ٨-٥-١) بطريقة الضبط بمعادلات الأرصاد وسنقوم هنا بحله مرة أخري بطريقة الضبط بمعادلات الشروط:

الشكل التالي يمثل شبكة من أرصاد الميزانيات تربط بين ٤ روبيرات BM حيث تتكون هذه الشبكة من ٦ خطوط ميزانية، ونفترض أن منسوب النقطة a معلوم (سنفرضه = صفر متر في الحالة الحالية) في هذه الحلقة.



الجدول التالي يمثل قيم الأرصاد (فروق المناسيب في كل خط) وكذلك طول خطوط الميزانية:

م	خط الميزانية		فرق المنسوب (متر)	طول الخط (كم)
	من نقطة	إلي نقطة		
١	a	c	٦.١٦	٤
٢	a	d	١٢.٥٧	٢
٣	c	d	٦.٤١	٢
٤	a	d	١.٠٩	٤
٥	b	d	١١.٥٨	٢
٦	b	c	٥.٠٧	٤

المطلوب حساب قيم العناصر المجهولة التي تتمثل في منسوب النقاط b, c, d مع قيم الانحراف المعياري لكلا منهم.

معادلات الاشتراطات:

$$\Delta H_1 - \Delta H_4 - \Delta H_6 = 0$$
$$\Delta H_1 - \Delta H_2 + \Delta H_3 = 0$$
$$\Delta H_2 - \Delta H_4 - \Delta H_5 = 0$$

المصفوفة B:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ -0.10 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$P^{-1} = \Sigma_L = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} cm^2 = 10^{-4} \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} m^2$$

$$M = (B P^{-1} B^T) = \begin{bmatrix} 12 & 4 & 4 \\ 4 & 8 & -2 \\ 4 & -2 & 8 \end{bmatrix}$$

$$K = -M^{-1} W = \begin{bmatrix} -0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{bmatrix}$$

$$\hat{V} = -P^{-1} B^T K = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.02 \\ 0.02 \\ -0.04 \\ -0.04 \\ 0.04 \end{bmatrix} m$$

$$\bar{L} = L + \hat{V} = \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.59 \\ 6.43 \\ 1.05 \\ 11.54 \\ 5.11 \end{bmatrix} m$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\hat{V}^T P \hat{V}}{r} = \frac{0.002}{3} = 6.7 \times 10^{-4}$$

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = \hat{\sigma}_o^2 [P^{-1} - (P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1})]$$

$$= 6.7 \times 10^{-4} \begin{bmatrix} 10.67 & & & & & \\ 5.33 & 8.00 & & & \text{متماثلة} & \\ -5.33 & 2.67 & 8.00 & & & \\ 5.33 & 5.33 & 0 & 10.67 & & \\ 0 & 2.67 & 2.67 & -5.33 & 8.00 & \\ 5.33 & 0 & -5.33 & -5.33 & 5.33 & 10.67 \end{bmatrix}$$

الآن يمكن حساب القيم المضبوطة لمناسيب النقاط المجهولة باستخدام الأرصاد المضبوطة:

$$\hat{H}_b = H_a + \Delta H_4 = 1.05 \text{ m}$$

$$\hat{H}_c = H_a + \Delta H_1 = 6.16 \text{ m}$$

$$\hat{H}_d = H_a + \Delta H_2 = 12.59 \text{ m}$$

من هذه المعادلات الخمسة نكون المصفوفة G كالتالي:

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

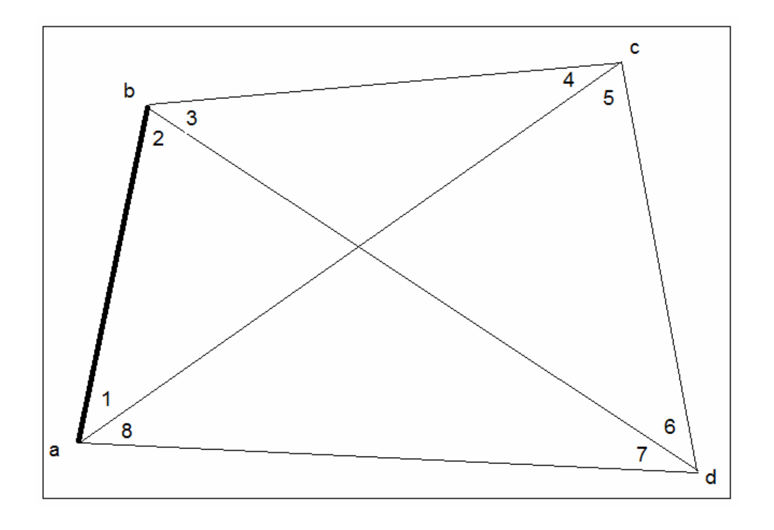
ثم يمكن حساب قيمة مصفوفة التباين للقيم المجهولة:

$$\hat{\Sigma}_{\hat{X}} = G \; \hat{\Sigma}_{\bar{L}} \; G^T$$

$$= 6.7 \times 10^{-4} \begin{bmatrix} 10.67 & 5.33 & 5.33 \\ 5.33 & 10.67 & 5.33 \\ 5.33 & 5.33 & 8.00 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

مثال ٣ للضبط الشرطي لمعادلات غير خطية:

الشكل الرباعي التالي يمثل ٨ زوايا داخلية مقاسة لشكل رباعي يبدأ من خط قاعدة معلوم ab بهدف تحديد إحداثيات النقطتين الجديدتين c , d.



شكل (٨-٨) مثال لضبط الشروط غير الخطية

الأرصاد كالتالي:

رقم	اسم الزاوية	قيمة الزاوية L
١	b a c	٤٨° ٢٦' ٠٩.٠"
٢	d b a	٣٧° ١٠' ٣٢.٦"
٣	c b d	٣٠° ٢٧' ٠٧.٢"
٤	a c b	٦٣° ٥٦' ١٤.٥"
٥	d c a	٥٤° ٣٩' ٤٨.٨"
٦	b d c	٣٠° ٥٦' ٤٥.٣"
٧	a d b	٤٤° ٠١' ٢٣.٢"
٨	c a d	٥٠° ٢١' ٥٤.٦"

سنعتبر في المثال الحالي أن جميع الزوايا لها نفس الدقة (أي نفس الوزن) و سنهمل الزيادة الكروية في أي مثلث (كما لو كان مثلث مستوي).

عدد الأرصاد: n = ٨

عدد الأرصاد الضرورية: n_{nec} = ٢ (عدد النقاط – ٢) = ٢ (٤ – ٢) = ٤

عدد الشروط المستقلة: r = ٨ – ٤ = ٤

تتكون الشروط الأربعة – في الشكل الرباعي - من ٣ شروط مثلثيه و شرط واحد ضلعي.

<u>الشروط المثلثية:</u>

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8 - 360^o = 0$$

$$\alpha_3 + \alpha_4 - \alpha_7 - \alpha_8 = 0$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_5 - \alpha_6 = 0$$

والمعادلات الثلاثة خطية.

<u>الشرط الضلعي:</u>

$$[\log \sin \alpha_1 + \log \sin \alpha_3 + \log \sin \alpha_5 + \log \sin \alpha_7] - [\log \sin \alpha_2 + \log \sin \alpha_4 + \log \sin \alpha_6 + \log \sin \alpha_8] = 0$$

وهذه معادلة غير خطية.

أما متجهة الأخطاء المتبقية W فيتم حسابه كالتالي:

$$W_1 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8 - 360^o = -4.8''$$

$$W_2 = \alpha_3 + \alpha_4 - \alpha_7 - \alpha_8 = +3.9''$$

$W_3 = \alpha_1 + \alpha_2 \qquad -\alpha_5 - \alpha_6 \qquad = +7.5''$

$W_4 = [\log \sin \alpha_1 + \log \sin \alpha_3 + \log \sin \alpha_5 + \log \sin \alpha_7] - [\log \sin \alpha_2 + \log \sin \alpha_4 + \log \sin \alpha_6 + \log \sin \alpha_8] = 25.1 \times 10^{-6} = 25.1 \text{ ppm}$

$$W = \begin{bmatrix} -4.8'' \\ +3.9'' \\ +7.5'' \\ 25.1 \text{ ppm} \end{bmatrix}$$

لحساب معاملات المصفوفة B:

للشروط المثلثية الثلاثة فأن العنصر في B هو معامل الزاوية في معادلة الشرط (المعادلات خطية مباشرة). أما لحساب عناصر B المقابلة للشرط الضلعي لأي زاوية α_i فأن:

$$\begin{aligned} \delta f / \delta\alpha_i &= (\delta \log \sin \alpha_i / \delta \alpha_i) \times 10^6 \\ &= (\delta \log \sin \alpha_i / 1'') \times 10^6 \\ &= (\cot \alpha_i \times \log_{10}{}^{e} / 206264.8) \times 10^6 \\ &= (\cot \alpha_i \times 0.43429448 / 206264.8) \times 10^6 \end{aligned}$$

وبذلك تكون المصفوفة B كالتالي:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1.87 & -2.78 & 3.58 & -1.03 & 1.48 & -3.51 & 2.18 & -1.74 \end{bmatrix}$$

أما خطوات الحل فتتابع كالتالي:

$$M = (B P^{-1} B^T)$$

لكن حيث أن الأرصاد هنا كلها بنفس الدقة (نفس الوزن) فأن المصفوفة $P^{-1} = I$ مما يجعل:

$$M = (B B^T)$$

$$M = (B B^T) = \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 & 0.06 \\ 0 & 4 & 0 & 2.11 \\ 0 & 0 & 4 & 1.11 \\ 0.06 & 2.11 & 1.11 & 47.42 \end{bmatrix}$$

$$K = -M^{-1} W = \begin{bmatrix} 0.6034 \\ -0.7342 \\ -1.7483 \\ -0.4565 \end{bmatrix}$$

$$\hat{V} = -P^{-1} B^T K = B^T K = \begin{bmatrix} -2.00 \\ 0.12 \\ -1.76 \\ 0.34 \\ 1.67 \\ 3.95 \\ 0.34 \\ 2.13 \end{bmatrix}''$$

$$\overline{L} = L + \hat{V} = \begin{bmatrix} 0\ \ '\ \ '' \\ 48\ 26\ 07.00 \\ 37\ 10\ 32.72 \\ 30\ 27\ 05.44 \\ 63\ 56\ 14.84 \\ 54\ 39\ 50.47 \\ 30\ 56\ 49.25 \\ 44\ 01\ 23.54 \\ 50\ 21\ 56.73 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\hat{V}^T P \hat{V}}{r} = \frac{30.27}{4} = 7.57$$

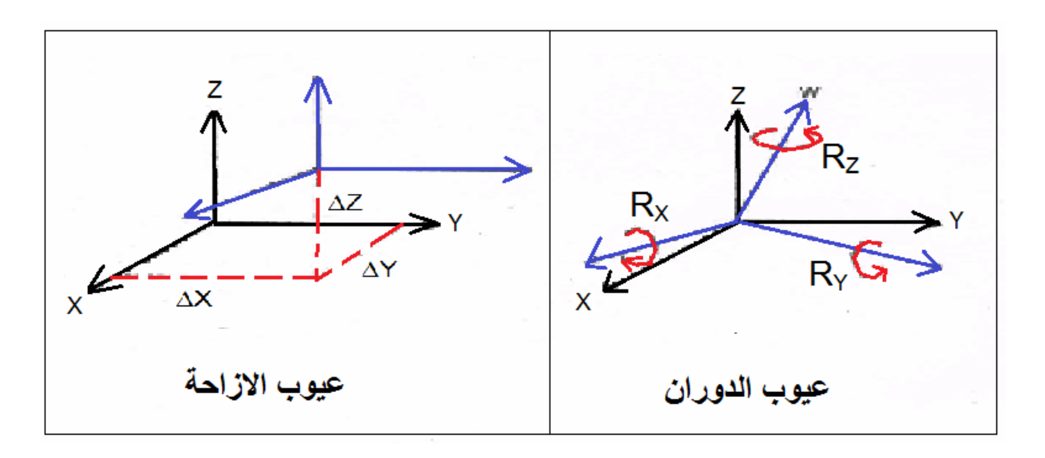
$$\hat{\sigma}_o = \sqrt{7.57} = 2.75''$$

٨-٦ ضبط الشبكات بطريقة حرة Free-Net Adjustment

تعاني أرصاد (قياسات) أي شبكة جيوديسية من عيوب المرجع Datum Defects حيث أن الأرصاد في حد ذاتها لا تحدد المرجع الذي تستند إليه هذه الشبكة. فإذا أخذنا علي سبيل المثال أرصاد شبكة الميزانية (حلقة من خطوط الميزانية) فأن كل رصدة تعطي فرق المنسوب بين نقطتين BM، لكن هذه الشبكة غير محدد لها المرجع الرأسي الذي تعتمد عليه. فان لم نحدد القيمة المطلقة absolute value لمنسوب نقطة من نقاط الشبكة فأن الشبكة لن تكون مرجعة أو محددة المرجع. من هنا نقول أنه يوجد عيب مرجعي واحد في شبكة الميزانية. مثال آخر عندما نرصد أطوال أضلاع مثلث فأن هذه المثلث من الممكن أن يقع في أي منطقة في العالم حيث أنه غير محدد المرجع، أي يعاني من عيوب مرجعية. ولإصلاح هذه العيوب يلزمنا معرفة القيمة المطلقة لإحداثيات (س،ص) لنقطة من نقاط هذا المثلث. وبعد ذلك يلزمنا أيضا تحديد علاقة هذا المثلث المقاس الأضلاع بمحور الإحداثيات (قيمة ميله علي المحور س أو المحور ص). إذن نقول أن المثلث المقاس الأضلاع يعاني من ٣ عيوب مرجعية.

يمكن تقسيم العيوب المرجعية في الشبكات الجيوديسية إلي ٣ أنواع: عيوب الإزاحة Translation وعيوب الدوران Rotation وعيب المقياس Scale. تكمن عيوب الإزاحة في تحديد الإزاحات بين نقطة من نقاط الشبكة و نقطة الأصل لنظام الإحداثيات، أي أن عيوب الإزاحة يمكن أن تكون ٢ فقط (س،ص) للشبكات الأفقية أو ٣ (س،ص،ع) للشبكات ثلاثية الأبعاد. أما عيوب الدوران فتشمل تحديد ميول الشبكة عن محاور نظام الإحداثيات نفسه، أي أنها مثل عيوب الإزاحة قد تكون ٢ للشبكات الأفقية (ألميل عن محور س و الميل عن محور ص) أو تكون ٣ للشبكات ثلاثية الأبعاد. أما عيب الدوران (دائما عيب واحد فقط) فهو الذي

يحدد حجم الشبكة بالنسبة للأرض. فمثلا إن لم يتم قياس طول ضلع واحد من أضلاع أي مثلث فيمكننا رسم مئات من هذه المثلثات تختلف في حجمها مع أن زواياه واحدة.



شكل (٨-٩) العيوب المرجعية في الشبكات الجيوديسية

العيوب المرجعية للشبكات الجيوديسية

نوع الشبكة	العيوب المرجعية	
	العدد	النوع
شبكات الميزانيات	١	١ إزاحة
شبكات الجاذبية الأرضية	١	١ إزاحة
شبكات المثلثات مقاسة الأضلاع	٣	٢ إزاحة ١ دوران
شبكات المثلثات مقاسة الزوايا	٤	٢ إزاحة ١ دوران ١ مقياس
الشبكات الأرضية ثلاثية الأبعاد	٦ (في حالة قياس ضلع في الشبكة)	٣ إزاحة ٣ دوران
	٧ (في حالة عدم قياس ضلع في الشبكة)	٣ إزاحة ٣ دوران ١ مقياس
شبكات الجي بي أس	٣	٣ إزاحة

تجدر ملاحظة السطر الأخير في الجدول السابق والذي يحدد عدد عيوب شبكات الجي بي أس بثلاثة فقط مع أن هذه الشبكات من نوع الشبكات ثلاثية الأبعاد. يرجع السبب في ذلك إلي أن أرصاد الجي بي أس الأساسية هي فروق الإحداثيات بين كل طرفي خط قاعدة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) والتي يمكن منها حساب انحراف الخط وبالتالي يمكن تحديد ميله عن المحاور الثلاثة (أي لا توجد عيوب دوران في شبكات الجي بي أس). بالمثل فيمكن حساب طول خط القاعدة من مركباته الثلاثة المقاسة، وبالتالي فلن يوجد عيب مقياس في شبكات الجي بي أس وسيتبقي فقط في هذه الشبكات عيوب الإزاحة الثلاثة.

هذه هو مفهوم العيوب المرجعية للشبكات من وجهة النظر الجيوديسية. أما من وجهة النظر الرياضية فأن وجود هذه العيوب لا يسمح بحساب مقلوب مصفوفة نظام المعادلات الأصولية N وهي التي يعتمد عليها حساب قيم العناصر المجهولة الناتجة من ضبط مجموع أقل المربعات ($X^{\wedge} = - N^{-1} U$). بمعني أننا لا نستطيع حساب قيمة المصفوفة N^{-1} لأنها مصفوفة أحادية Singular Matrix لأي شبكة جيوديسية. وللتغلب علي هذا الوضع فيجب معالجة العيوب المرجعية للشبكة، وهو ما يتم بأحدي طريقتين وهما: ضبط الشبكة الحرة و الضبط بأقل عدد من القيود.

تعتمد طريقة ضبط الشبكة الحرة Free-Network Adjustment علي معالجة العيوب المرجعية للشبكة من خلال تثبيت قيم (غير دقيقة) لمرجع الشبكة. فمثلا في حالة شبكة الميزانية فنقوم بفرض قيمة منسوب احدي نقاط الشبكة (مثلا نفرضه = صفر)، وبالتالي يمكننا حساب مناسيب كل نقاط الشبكة المرصودة. مثال آخر: في حالة شبكات الجي بي أس نقوم بفرض الإحداثيات الثلاثة لنقطة من نقاط الشبكة المرصودة (مثلا إحداثياتها التقريبية الناتجة من أرصاد الشفرة) وبالتالي يمكن استكمال خطوات عملية الضبط وحساب إحداثيات باقي نقاط الشبكة.

لكن من المهم جدا ملاحظة أن نتائج هذا الضبط الحر (كما يبدو من أسمه) لن تكون هي النتائج الدقيقة للشبكة الجيوديسية. فهذه النتائج معتمدة علي قيمة تقريبية لمعالجة عيوب الشبكة حتى نستطيع حساب N^{-1} و استكمال معادلات وخطوات الضبط. علي الجانب الآخر فأن أهم مميزات طريقة الضبط الحر أنها تسمح لنا باكتشاف دقة أرصاد الشبكة ذاتها وأيضا باكتشاف أيه أخطاء بها قبل إتمام عملية الضبط النهائي. فمثلا من نتائج الضبط الحر نستطيع حساب قيم الانحراف المعياري للأرصاد المضبوطة (من المصفوفة $\hat{\Sigma}_{L}$) وبالتالي يمكننا اكتشاف أية أرصاد غير دقيقة ونقوم بحذفها حتى لا تؤثر علي باقي الأرصاد وعلي النتائج النهائية للعناصر المجهولة. من هنا فأن إتمام عملية الضبط الحر وفحص نتائجها بدقة و تمعن يعد من أهم خطوات ضبط الشبكات الجيوديسية. من الممكن أن نعيد عملية الضبط الحر عدة مرات (مع حذف بعض الأرصاد غير الدقيقة في كل مرة) قبل أن نتأكد من أن الأرصاد التي ستدخل في الضبط النهائي للشبكة هي الأرصاد الدقيقة فقط.

أما طريقة الضبط بأقل عدد من القيود Minimal- or Minimum-Constraints Adjustment فهي مثل طريقة الضبط الحر تماما إلا أننا نقوم بتثبيت قيم حقيقية معلومة لعيوب الشبكة. فمثلا في حالة شبكة الميزانية نقوم بتثبيت قيمة المنسوب المعلوم (الحقيقي) لنقطة BM في الشبكة بدلا من فرض أن منسوبها يساوي الصفر. يمكن الاطلاع علي المعادلات الرياضية لعملية الضبط الحر أو الضبط بأقل عدد من القيود في المراجع الجيوديسية المتخصصة (مثل Dawod, 1991).

أما في حالة تثبيت عدد أكبر من عدد عيوب المرجع للشبكة الجيوديسية فهذا ما يطلق عليه اسم الضبط بعدد أكبر من القيود أو Over-Constraints Adjustment. فمثلا في شبكات الميزانية إذا قمنا بتثبيت قيمة منسوب نقطتين BM من نقاط الشبكة (عدد العيوب المرجعية للشبكة ١ فقط)، أو في شبكات الجي بي أس إذا قمنا بتثبيت إحداثيات نقطتين من نقاط الشبكة (أي ٦ عناصر) مع أن عدد عيوب الشبكة يبلغ ٣ فقط (X,Y,Z لنقطة واحدة). وهي حالة تتطلب فحص دقيق للشبكة المقاسة و أيضا تعتمد علي دقة المرجع الذي نقوم بتثبيته.

٨-٧ تحليل نتائج ضبط الشبكات

يعد تحليل النتائج من أهم – إن لم يكن هو أهم – خطوات ضبط الشبكات الجيوديسية وخاصة شبكات الجي بي أس التي بدأ تطبيقها في ازدياد سريع في الفترة الأخيرة. يمكن بالتحليل الدقيق لنتائج الضبط (الفحص المبدئي للأرصاد و الضبط الحر للشبكة) اكتشاف أية أرصاد غير دقيقة وأية مشاكل في الشبكة ومن ثم التعامل معها بطريقة علمية للوصول إلي أدق النتائج. توجد عدة خطوات لتحليل نتائج الشبكات سنتعرض لأهمهم في الأجزاء التالية.

٨-٧-١ تحليل معامل التباين Variance Factor Analysis

في معادلات الضبط بطريقة أقل مجموع مربعات تعاملنا مع معامل التباين قبل الضبط (assumed or a priori variance factor) σ_o^2 وهي قيمة تم افتراضها – قبل بدء الضبط – ليتم بها حساب مصفوفة الوزن من مصفوفة التباين للأرصاد (غالبا نفرضها = ١):

$$P = \sigma_0^2 \ \Sigma^{-1}$$

وبعد اكتمال خطوات الضبط قمنا بحساب أو تقدير القيمة المضبوطة لمعامل التباين (Adjusted or estimated or a posteriori Variance Factor):

$$\hat{\sigma}_0^2 = \hat{V}^T \ P \ \hat{V} \ / \ (n - u)$$

يتم إجراء مقارنة بين القيمة المفترضة أو الأولية لمعامل التباين والقيمة المحسوبة أو المضبوطة لها:

$$\hat{\sigma}_0^2 \ / \ \sigma_0^2$$

والذي من المفترض أن يساوي ١ أو قريبا منه حتى تكون قيمة معامل التباين المبدئي مناسبة أو قريبة لتلك القيمة الناتجة من الضبط وبالتالي فأن خطوات و حسابات الضبط تكون سليمة. أما إن كانت نتيجة هذه المقارنة لا تساوي ١ (أو قريبة منه) فأن هذا يعد إنذارا بأن هناك شيئا ما لم يكن بالصورة السليمة سواء في:

- وجود أخطاء – بشرية - في نقل الأرصاد المقاسة في الطبيعة.
- وجود أخطاء منتظمة لم يتم معالجتها في الأرصاد قبل بدء الضبط.
- تكوين معادلات الضبط (سواء معادلات الأرصاد أو معادلات الاشتراطات) بصورة غير دقيقة.
- عدم مناسبة الوزن المستخدم للأرصاد الأصلية، إما أن يكون الوزن (أو بمعني آخر الانحراف المعياري الذي يعبر عن دقة الأرصاد الأساسية) أقل من الحقيقية أو أن يكون أكبر من الحقيقية.

ومن ثم فيجب إعادة فحص الأرصاد و المعادلات مرة أخري وإصلاح أية عيوب بها ثم إعادة عملية الضبط من جديد.

يجب ملاحظة أن هذا التحليل لا يؤثر علي القيمة النهائية المضبوطة للعناصر المجهولة حيث أن معادلة حساب هذه العناصر لا تدخل بها قيمة معامل التباين المضبوط $\hat{\sigma}_o^2$ كما سبق أن رأينا في المعادلة:

$$\hat{X} = -N^{-1} U$$

لكنه يؤثر علي قيمة التباين (ومن ثم الانحراف المعياري) لهذه العناصر:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{X}} = \hat{\sigma}_o^2 \; N^{-1}$$

وأيضا يؤثر علي قيمة التباين للأرصاد المضبوطة:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = A \; \hat{\Sigma}_{\bar{X}} \; A^T$$

في الأمثلة المحلولة السابقة نري (في مثال شبكة الميزانيات) أن قيمة معامل التباين المبدئي أو المفروض كانت:

$$\sigma_o^2 = 1 \times 10^{-4}$$

بينما قيمة معامل التباين المضبوط كانت:

$$\hat{\sigma}_o^2 = 6.7 \times 10^{-4}$$

أي أن قيمة تحليل معامل التباين:

$$\hat{\sigma}_o^2 / \sigma_o^2 = 6.7$$

مما يدل علي أن قيمة معامل التباين (ومن ثم الانحراف المعياري للأرصاد) المبدئي كانت أكبر مما ينبغي، أي أن الأرصاد الأصلية كانت أقل دقة مما توقعنا.

أما في المثال الثاني (مثال التقاطع) فنري أن قيمة معامل التباين المبدئي أو المفروض كانت:

$$\sigma_o^2 = 1$$

بينما قيمة معامل التباين المضبوط كانت:

$$\hat{\sigma}_o^2 = 0.2812$$

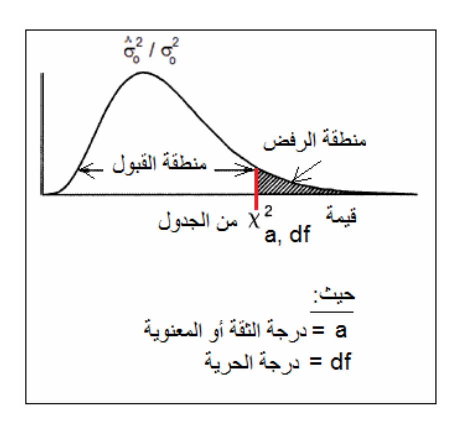
أي أن قيمة تحليل معامل التباين:

$$\hat{\sigma}_o^2 / \sigma_o^2 = 0.2812$$

مما يدل علي أن قيمة معامل التباين (ومن ثم الانحراف المعياري للأرصاد) المبدئي كانت أقل مما ينبغي، أي أن الأرصاد الأصلية كانت أدق مما توقعنا لها.

يعد الاختبار الإحصائي "مربع كاي Chai-Square" أو χ^2 هو الذي يتم استخدامه لبيان العلاقة الإحصائية بين معامل التباين المبدئي و معامل التباين المضبوط، ويسمي هذا الاختبار

علي نتائج ضبط الشبكات باختبار درجة التوافق Goodness of Fit. يعتمد هذا الاختبار علي مقارنة قيمة تحليل معامل التباين $\hat{\sigma}_o^2 / \sigma_o^2$ لشبكة معينة مع القيمة المفترضة من الجداول الإحصائية للاختبار، ومن ثم إن كانت النتيجة متوافقة فأن الاختبار يكون مقبول أو ناجح Pass أو يكون الاختبار مرفوض أو غير ناجح Fail في الحالة الأخرى.



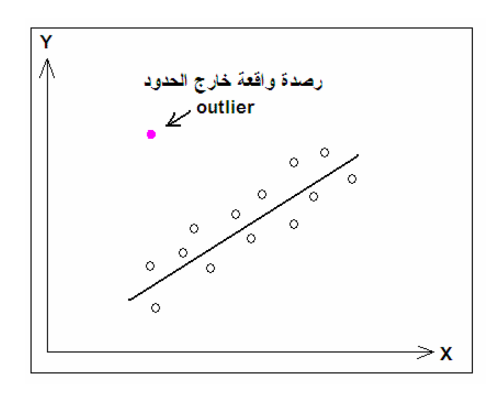
شكل (٨-١٠) اختبار درجة التوافق أو اختبار مربع كاي

معظم البرامج التجارية software الخاصة بضبط الشبكات الجيوديسية (وخاصة برامج الجي بي أس) تعطي نتيجة هذا الاختبار ضمن نتائج عملية الضبط، ومن ثم يجب علي المستخدم معرفة نتيجة الاختبار وكيفية التعامل معها. كما سبق الذكر أن عدم نجاح هذا الاختبار يعد إنذارا لمراجعة البيانات الأصلية للشبكة ومعادلاتها، فان تأكد المستخدم أن كل هذه الخطوات سليمة فليس أمامه إلا تغيير قيمة معامل التباين المبدئي σ_o^2 بحيث يكون متوافقا مع القيمة المضبوطة الناتجة من الضبط $\hat{\sigma}_o^2$ ثم يعيد عملية ضبط الشبكة مرة أخري حتى ينجح هذا الاختبار.

٨-٧-٢ تحليل الأرصاد الشاذة Outliers Analysis

الأرصاد الشاذة أو الأرصاد الواقعة خارج الحدود هي أرصاد لها أخطاء متبقية Residuals تقع خارج (من هنا جاء أسمها Out Lay or Outliers) حدود ثقة معينة متوقعة لها. لنأخذ مثال بسيط: إذا قسنا مسافة عدد من المرات وكانت قيمها هي ١١.٢٤ ، ١١.٢١ ، ١١.٢٧ ، ١١.٢٨ ، ١١.٢٣ ، ١٧.٨٨ متر. من الواضح أن القياسات الخمسة الأولي قريبة جدا من بعضها البعض بينما الرصدة الأخيرة بعيدة جدا عنهم. مما يجعلنا نشك أن هذا القياس الأخير حدث به خطأ ضخم سواء نتيجة الجهاز المستخدم أو الراصد أو الظروف الجوية لعملية الرصد ذاتها ، وهذا ما نطلق عليه "الرصدة الشاذة أو الرصدة الواقعة خارج الحدود outlier". فإذا قمنا بحساب المتوسط باستخدام جميع الأرصاد فستكون قيمته غير دقيقة ، بينما المنطقي أن يتم استبعاد هذه الرصدة الخاطئة وحساب المتوسط باستخدام الأرصاد الخمسة الأولي فقط. وعلي سبيل المثال إن كان لدينا رصدة وكان الخطأ المتبقي لها (أي التصحيح) $\hat{V}$ الناتج من عملية الضبط ٠.٠١ متر – مثلا – لكن الانحراف المعياري لهذا التصحيح $\hat{\sigma}_{\hat{v}}$ كان ± ٠.٠٣ متر. في هذه الحالة تكون هذه الرصدة مشكوكا في مصداقيتها حتى إن كانت قيمة التصحيح (الخطأ المتبقي) صغيرة في حد ذاتها، إلا أن انحرافه المعياري أكبر من قيمته ذاتها. تأتي خطورة

الأرصاد الشاذة من أنها **تؤثر** علي باقي أرصاد الشبكة وتقلل من دقة النتائج النهائية الناتجة من عملية الضبط. من هنا لا بد من اكتشاف هذه الأرصاد الشاذة و حذفها من الشبكة الجيوديسية.



شكل (٨-١١) الأرصاد الشاذة أو الواقعة خارج الحدود

أهتم علماء الجيوديسيا بعملية اكتشاف الأرصاد الشاذة من خلال ابتكار اختبارات إحصائية خاصة لتحليل نتائج ضبط الشبكات، مثل طريقة فحص البيانات Data Snooping للعالم Barada من خلال تطبيق الاختبار الإحصائي t-Test في عام ١٩٦٨م، و طريقة اكتشاف الأرصاد الشاذة Outlier Detection من خلال تطبيق اختبار تاو Tau Test للعالم Pope في عام ١٩٧٦م. يعتمد اختبار تاو علي حساب قيمة حاصل قسمة القيمة المطلقة للخطأ المتبقي لأي رصدة علي قيمة انحرافه المعياري $|\hat{V}| / \hat{\sigma}_{\hat{V}}$ (ويسمي الخطأ المتبقي المعياري Standardized Residual) ومقارنتها بالقيمة المتوقعة من الجداول الإحصائية الخاصة بهذا الاختبار. فان كان الخطأ المتبقي المعياري أكبر من القيمة الإحصائية المتوقعة له فهذا يدل علي أن هذه الرصدة هي رصدة شاذة outlier ويجب حذفها من أرصاد الشبكة وإعادة عملية الضبط مرة أخري (أنظر مرجع Dawod 1995 و Kavouras 1982).

معظم البرامج التجارية software الخاصة بضبط الشبكات الجيوديسية (وخاصة برامج الجي بي أس) تعطي نتيجة هذا الاختبار ضمن نتائج عملية الضبط، ومن ثم يجب علي المستخدم معرفة نتيجة الاختبار وكيفية التعامل معها. وتتكون خطوات تحليل الأرصاد و نتائج الضبط من:

- إجراء الضبط الأولي باستخدام جميع أرصاد الجي بي أس.
- إذا أشارت نتائج الاختبار الإحصائي لوجود عدد من الأرصاد الواقعة خارج الحدود outliers فلا نحذفها كلها ، إنما نحذف فقط الرصدة ذات أكبر قيمة من نتائج الاختبار. السبب في ذلك أن رصدة واحدة خاطئة من الممكن أن تؤثر علي أرصاد أخري سليمة أو دقيقة ، ومن هنا فأن حذف كل الأرصاد التي تظهر في نتائج الاختبار سيقلل من عدد الأرصاد في الشبكة بصورة غير ضرورية مما سيقلل من جودة الحل النهائي للشبكة.
- نعيد إجراء ضبط الشبكة مرة أخري للحصول علي نتائج جديدة سواء للإحداثيات أو للاختبار الإحصائي أيضا.
- تتكرر هذه العملية عدد من المرات حتى نصل في الخطوة الأخيرة إلي عدم وجود أية أرصاد واقعة خارج الحدود علي الإطلاق.
- نعتمد إحداثيات آخر عملية ضبط لتكون الإحداثيات النهائية الدقيقة لشبكة الجي بي أس.

الفصل التاسع

حسابات الجي بي أس عمليا

يقدم هذا الفصل محاولة لعرض الخطوات العامة لحسابات أرصاد الجي بي أس خاصة في مجال إنشاء الشبكات الجيوديسية (الثوابت الأرضية) في مشروع جديد. بالطبع فأنه من الصعوبة شرح الخطوات التفصيلية لأي مشروع جي بي أس لاختلاف طبيعة وأهداف كل مشروع وأيضا لاختلاف أنواع الأجهزة و برامج الحساب من مشروع لآخر، إلا أننا نحاول أن نقدم الخطوط العريضة لمثل هذه المشروعات. سيتم استخدام برنامج LGO 5 من شركة Leica في الشرح هنا (بهدف تعليمي فقط و ليس لأية أسباب تجارية)، وكما هو معروف أن أساسيات برامج حسابات الجي بي أس تتشابه جميعها وان كانت تختلف فقط في أسماء الأوامر وأشكال النوافذ. ويمكن لأي مستخدم أن يستفيد من هذا الشرح ثم يطبقه علي برنامج الحسابات الذي يمتلكه بعد أن يدرك أسماء الأوامر أو النوافذ في برنامجه.

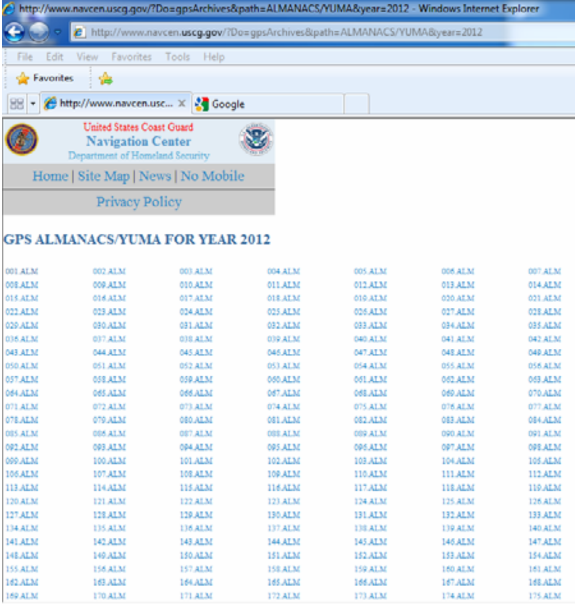
٩-١ اختيار أنسب أوقات الرصد

سبق الذكر أن اختيار أنسب وقت للرصد في الجي بي أس يعد أيضا من خطوات التصميم و التخطيط. فمع أن أشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس متاحة ٢٤ ساعة يوميا ، ألا أن دقة و جودة وعدد الأقمار الصناعية يختلف من موقع جغرافي لآخر و من ساعة لآخري في نفس اليوم. يعد معامل دقة الموقع PDOP العامل الأساسي الذي يصف العلاقة بين توزيع الأقمار الصناعية في زمن معين و بين الدقة المتوقعة للرصد في هذا الوقت. ويمكن معرفة قيم PDOP لأي مكان و في أي وقت باستخدام البرامج المتخصصة (أي قبل تنفيذ العمل الحقلي ذاته). لذلك لا بد من استخدام أحد هذه البرامج لحساب معامل الدقة في الأيام المحددة للرصد الحقلي ، ومن ثم اختيار أنسب أوقات أو ساعات اليوم التي يكون فيها معامل PDOP أقل من ٦ ضمانا للوصول لأدق تحديد للمواقع المرصودة. أما للرصد المتحرك اللحظي فأن PDOP أقل من ٣ يعتبر جيدا ، ومن ٣ إلي ٦ يعتبر مقبولا بينما ما هو أكبر من ٦ يعتبر ضعيفا. أما قيمة زاوية القناع Mask or Cut-Off Angle فيجب ألا تقل عن ١٥° في معظم التطبيقات المساحية و الجيوديسية. تحتوي ملفات إشارات الأقمار الصناعية علي ما يعرف باسم بيانات المدار Almanac وهي بيانات تحدد طبيعة مدار كل قمر من الأقمار الصناعية. لكن من المعلوم أن مدارات الأقمار الصناعية تتعرض لبعض التأثيرات (مثل تأثير طبقات الغلاف الجوي العليا) مما يجعلها لا تتفق مع المدار المصمم لها. من هنا فأن وحدة المراقبة و التحكم في منظومة الجي بي أس تتولي مراقبة مدارات الأقمار الصناعية و تصحيحها كل فترة. وبذلك فأن بيانات المدار Almanac في إشارات الأقمار الصناعية (ملفات الأرصاد الحقلية) تكون صالحة لتحديد المدارات لمدة ٣ شهور قادمة فقط. فان كان لدينا ملف أرصاد حديث فأن برنامج LGO (أو أي برنامج جي بي أس آخر) يستطيع استخلاص بيانات المدار منه ومن ثم التنبؤ بمدارات الأقمار الصناعية لمدة ٣ شهور قادمة. أما إن لم يكن لدينا ملفات أرصاد جي بي أس حديثة فتوجد بعض المواقع علي شبكة الانترنت تعرض ملفات خاصة حديثة لمدارات الأقمار الصناعية. ومن هذه المواقع – علي سبيل المثال – موقع هيئة حرس السواحل الأمريكية، والتي تعرض ملفات المدارات Almanac يوما بيوم.

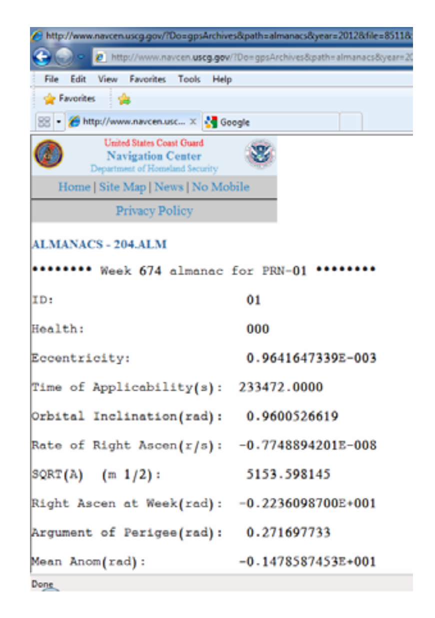
الرابط التالي يمكن منه تحميل ملفات مدارات الأقمار الصناعية لعام ٢٠١٢م من موقع حرس السواحل الأمريكي:

http://www.navcen.uscg.gov/?Do=gpsArchives&path=ALMANACS/YUMA&year=2012

نجد أسماء الملفات بترتيب الأيام في عام ٢٠١٢، فالملف 001.alm يعبر عن أول يوم (١ يناير) في عام ٢٠١٢ والملف 204.alm يعبر عن اليوم ٢٠٤ (٢٣ يوليه) من هذا العام:



فإذا أخذنا مثلا ملف يوم ٢٠٤ فنجده – عند الضغط عليه - كالتالي:



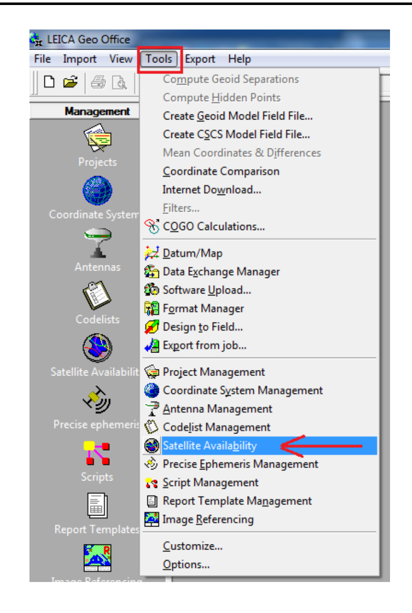
ALMANACS - 204.ALM

******** Week 674 almanac for PRN-01 ********

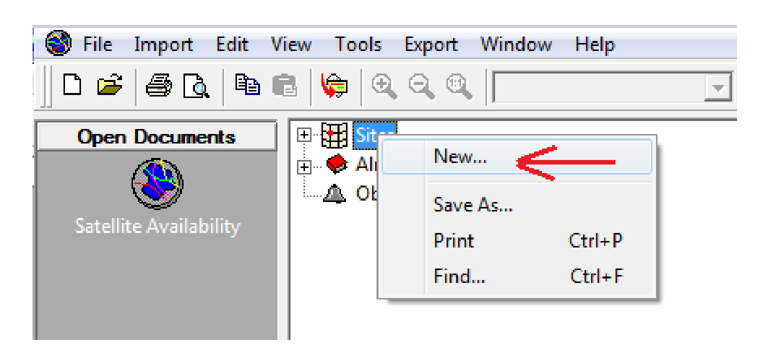
ID:	01
Health:	000
Eccentricity:	0.9641647339E-003
Time of Applicability(s):	233472.0000
Orbital Inclination(rad):	0.9600526619
Rate of Right Ascen(r/s):	-0.7748894201E-008
SQRT(A) (m 1/2):	5153.598145
Right Ascen at Week(rad):	-0.2236098700E+001
Argument of Perigee(rad):	0.271697733
Mean Anom(rad):	-0.1478587453E+001

نقوم بنسخ محتويات الملف (ما عدا شعار هيئة حرس السواحل) في ملف نصي Text File علي أن نقوم بتغيير امتداد الملف من txt إلي alm.

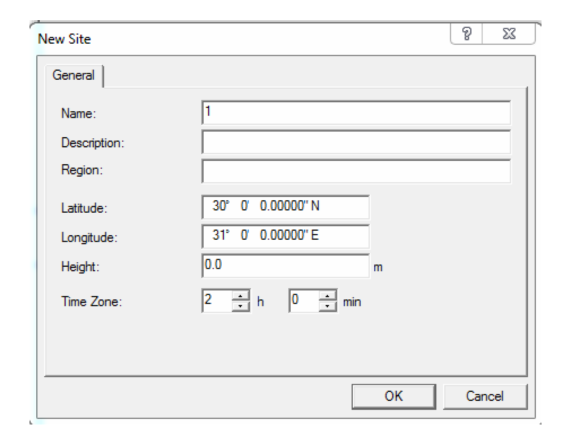
بعد تحميل ملف المدارات من الانترنت نبدأ في استخدام أمر اتاحية الأقمار الصناعية Satellite Availability من قائمة أدوات Tools في برنامج LGO:



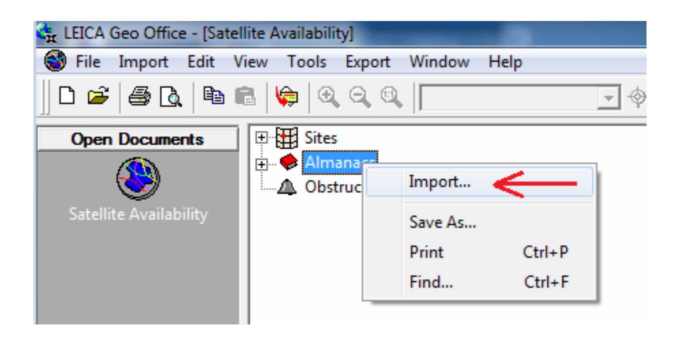
نضغط بالماوس الأيمن علي أمر مواقع Sites ثم نختار موقع جديد New:



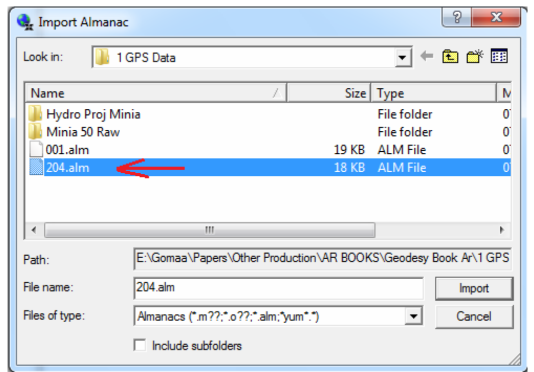
نـدخل اسـم للموقـع الجديـد و إحداثياتـه التقريبيـة (دائـرة العـرض Latitude و خـط الطـول Longitude) ثم نضغط Ok:



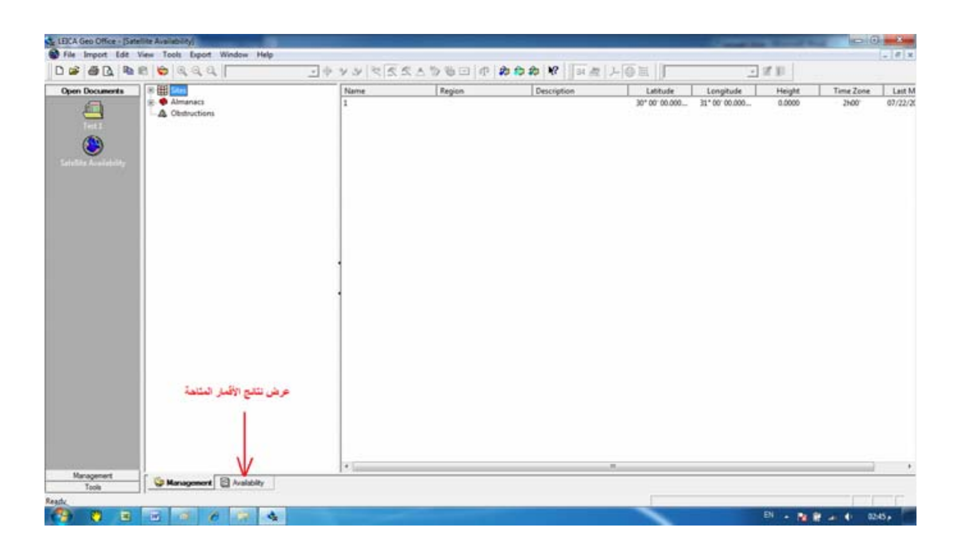
نضغط بالماوس الأيمن علي أمر ملفات المدار Almanacs ثم نختار استيراد Import:



نختار ملف المدارات الذي تم تحميله من الموقع السابق (بعد أن غيرنا امتداده إلي alm) ثم نضغط Import:



نضغط علي أيقونة Availability الموجودة في أسفل يسار الشاشة لعرض نتائج الأقمار المتاحة:



تنقسم شاشة النتائج إلي **جزأين طوليين**: علي يسار الشاشة توجد عناصر التحكم بينما يتم عرض النتائج علي يمين الشاشة. <u>الجزء العلوي الأيسر</u> به عناصر العرض المطلوب مثل اليوم المطلوب Date و بداية الوقت المطلوب Start و مدة الوقت المطلوب Duration وأيضا نوع البيانات GPS/GLONASS. كل هذه العناصر يمكن تغيير ها بسهولة بمجرد الضغط بالماوس علي أيا منهم. <u>الجزء الأوسط الأيسر</u> به أنواع النتائج التي يمكن للبرنامج عرضها مثل PDOP, GDOP, HDOP, VDOP ويمكن اختيار النوع المطلوب بالضغط بالماوس علي الدائرة الصغيرة الموجودة بجوار اسمه. وبجرد اختيار أي نوع ستتغير الشاشة اليمني (النتائج) مباشرة. <u>الجزء الأسفل الأيسر</u> به أرقام الأقمار الصناعية المتاحة للرصد في اليوم

المحدد عند هذا الموقع المحدد. إذا ضغطنا الماوس علي المربع الصغير أمام رقم أي قمر صناعي (نزيل علامة الصح) فأن هذا القمر سيختفي تأثيره من شاشة النتائج. أي أننا – بهذه الطريقة – يمكننا معرفة تأثير كل قمر من الأقمار الصناعية علي الأرصاد المتوقعة (قبل الرصد الفعلي) واستخدام هذه المعلومة لاحقا في الحسابات.

أما الجزء الأيمن من الشاشة (النتائج) فيتكون من:

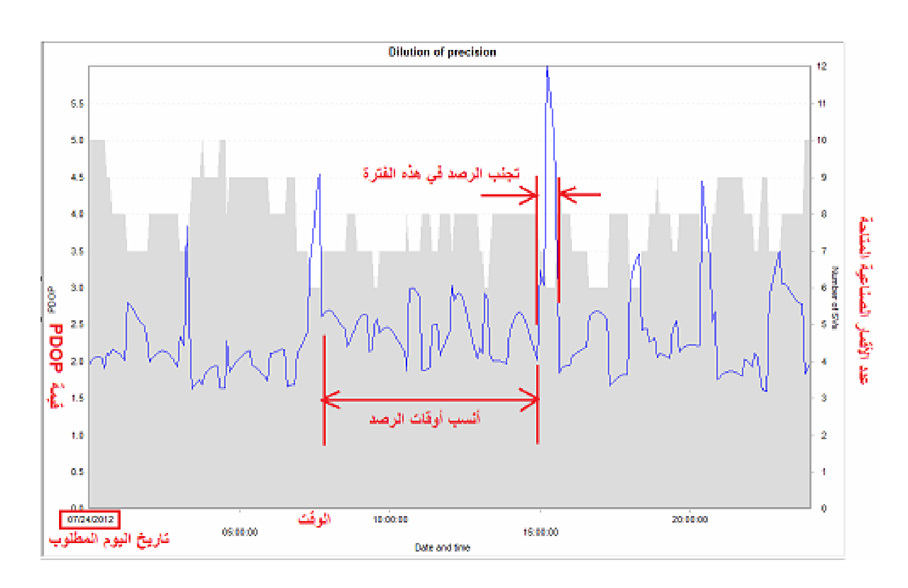
- المحور السيني (الأفقي) للوقت الذي تم تحديده لعرض الأقمار الصناعية
- المحور الصادي (الرأسي) علي يمين الشاشة يحدد عدد الأقمار الصناعية وهو مرسوم باللون الرصاصي.
- المحور الصادي (الرأسي) علي يسار الشاشة يحدد قيمة PDOP (في هذا المثال) وهو مرسوم كخط مستمر باللون الأزرق الفاتح.



في المثال الحالي (أنظر الشكل) نستطيع أن نستنتج الآتي:

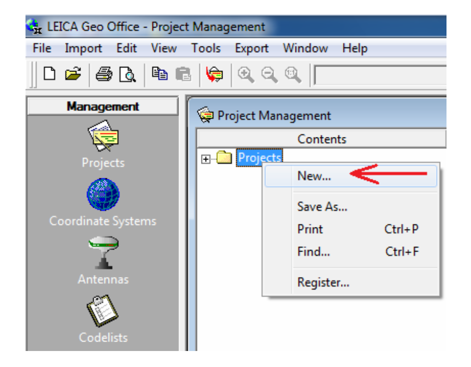
- يوجد علي الأقل عدد ٦ أقمار صناعية طوال ٢٤ ساعة في اليوم المحدد
- يتراوح عدد الأقمار المتاحة – في هذا الموقع المحدد – بين ٦ و ١٠ أقمار
- توجد ١٠ أقمار في أول ساعة تقريبا من اليوم ثم تقل إلي ٩ .... وهكذا، وتعود مرة أخري إلي الرقم ١٠ مع نهاية اليوم
- تبدأ قيمة PDOP (الخط الأزرق) عند الساعة صفر لتساوي ٢ وتزداد حتى تصل إلي ٤ عند الساعة تقريبا ٤ ثم تعود إلي ما يقارب ٢ حتى الساعة ٦ ثم تقفز إلي ٤.٥ عند الساعة تقريبا ٨ ..... وهكذا
- إذن لو كان لدينا مشروع للرصد الثابت Static في هذا اليوم فمن الأفضل إجراء الرصد الحقلي بين الساعة ٨ صباحا و ٣ ظهرا، فهذه الفترة – كما في الشكل – يكون فيها PDOP في حدود ١.٥ – ٣ وهي قيم ممتازة للرصد الثابت.
- للعمل المساحي أو الجيوديسي الذي يتطلب دقة كبيرة أو متوسطة فيجب بقدر الإمكان تجنب الرصد (سواء الثابت أو المتحرك) في الفترة من الساعة ٣ إلي ٤ ظهرا لأن قيمة PDOP تقفز إلي حوالي ٥.٥ وهي أكبر قيمة في هذا اليوم المحدد لهذا الموقع المحدد.

– الفترة السابقة بها عدد أقمار يبلغ ٦ فقط وقيمة PDOP هي الأكبر طوال اليوم. نلاحظ من الشكل أن هناك بعض الفترات الأخرى بها ٦ أقمار صناعية فقط إلا أن قيمة PDOP لها لا ترتفع لهذا الحد (مثلا الفترة ٤-٥ ظهرا في الشكل). كما قلنا أن PDOP هو تأثير توزيع الأقمار الصناعية حتى إن كان عددها واحد، فيمكن وجود ٦ أقمار موزعين توزيعا جيدا بالنسبة لموقع الرصد ويعطوا قيمة PDOP متوسطة ويمكن وجود ٦ أقمار لكن توزيعهم غير جيد فيعطوا قيمة PDOP كبيرة. فليس عدد الأقمار هو المهم إنما طريقة توزيعهم، وهذه أحد مميزات الخطوة الحالية لاختيار أنسب أوقات الرصد مسبقا.

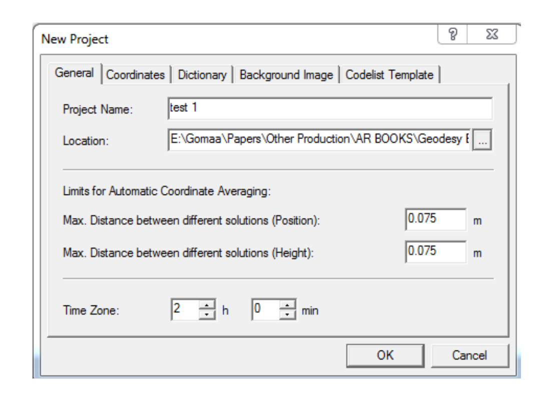


٩-٢ حسابات خطوط القواعد

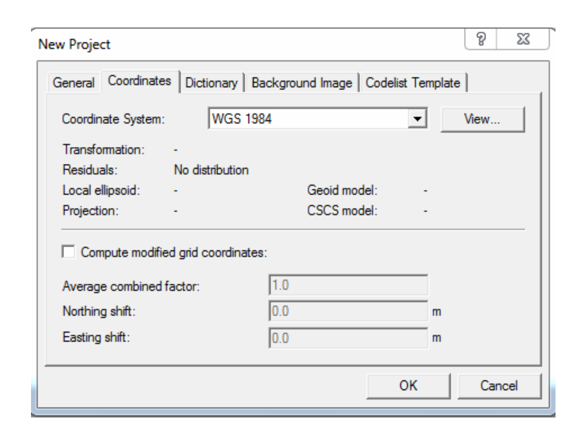
من القائمة الرئيسية لبرنامج LGO نضغط أيقونة مشروعات Projects ثم نختار أمر مشروع جديد New:



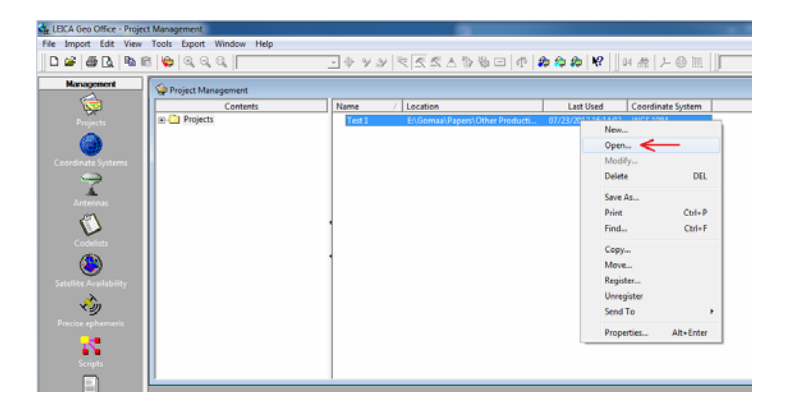
نحدد اسم للمشروع الجديد Project Name و مسار المجلد Location الذي سيتم إنشاؤه بداخله:



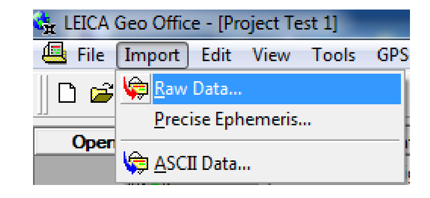
إذا ضغطنا أيقونة الإحداثيات Coordinates (أعلي الشاشة) نجد أن نظام الإحداثيات لهذا المشروع سيكون WGS 1984 وسنتركه كما هو دون تغيير ونضغط OK:



أصبح لدينا المشروع الجديد ولفتحه: (١) نضغط بالماوس الأيمن علي أسم المشروع ثم نختار أمر Open، أو (٢) نضغط عليه ضغطتين متتاليتين (دوبل كليك) مباشرة:

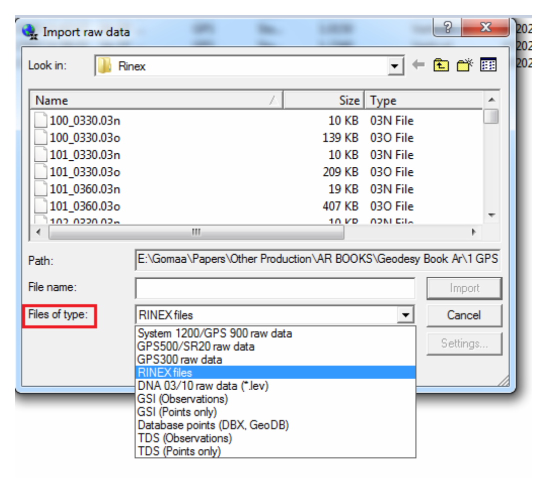


في الخطوة التالية نبدأ في استيراد البيانات (ملفات الأرصاد الأساسية) من خلال الضغط علي أيقونة Import من شريط الأدوات الرئيسي للبرنامج ثم اختيار أمر البيانات الأصلية Raw Data:

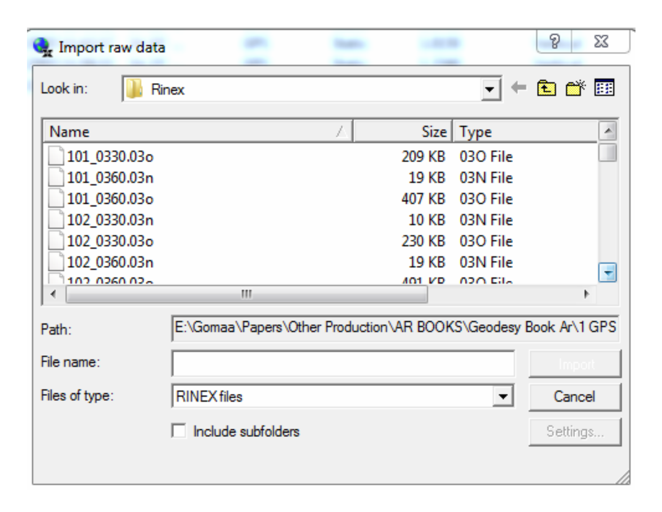


بفتح السهم الصغير بجوار كلمة نوع الملفات Files of Type نجد عدة خيارات يتيحها برنامج LGO: ملفات أجهزة ليكا موديل ١٢٠٠، ملفات أجهزة ليكا موديل ٥٠٠، ملفات أجهزة ليكا موديل ٣٠٠ (لاحظ أن برنامج LGO هو من شركة ليكا وبالتالي يستطيع قراءة ملفات أجهزة ليكا مباشرة لجميع موديلاتها)، ملفات RINEX ..... الخ.

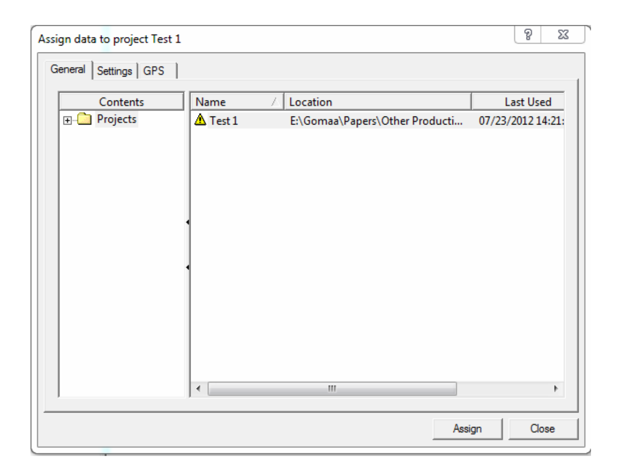
كلمة RINEX هي اختصار جملة Receiver Independent Exchange Format أي صيغة تبادل الملفات دون الاعتماد علي نوع الجهاز، وهي صيغة قياسية standard للتعامل مع ملفات أرصاد الجي بي أس الناتجة من أي جهاز استقبال. هذه الصيغة هي التي تمكن أي برنامج حسابات من التعامل مع ملفات أجهزة من شركة أخري غير تلك الشركة المنتجة لهذا البرنامج. نحتاج لهذه الصيغة – خاصة – عندما يكون لدينا نوعين من أجهزة الجي بي أس (مثلا ليكا و ترمبل) تم استخدامهم في نفس المشروع، فنقوم باستخدام برنامج شركة ترمبل لكي يصدر export ملفات أجهزة ترمبل إلي صيغة RINEX وبالتالي يستطيع برنامج شركة ليكا LGO من قراءة و استخدام هذه الملفات.



نختار ملفات البيانات التي سيتم استيرادها:



نختار المشروع المطلوب (في حالة وجود أكثر من مشروع) ثم نضغط أيقونة Assign لكي يتم تسجيل الملفات في مكونات هذا المشروع:

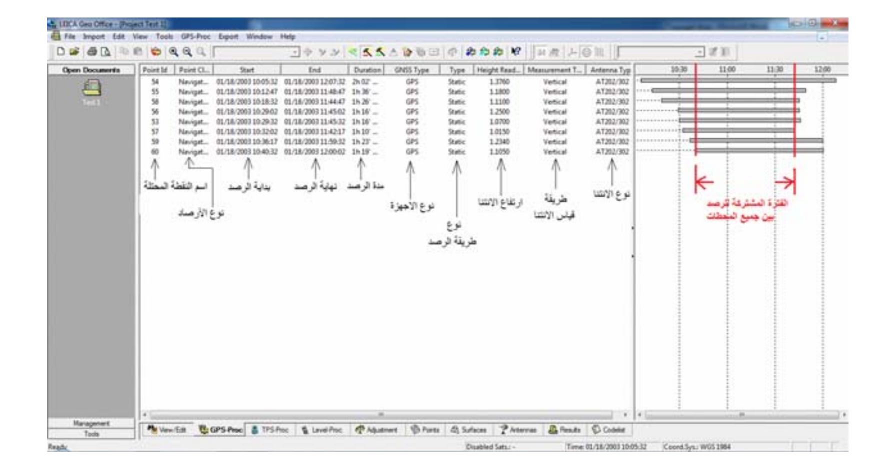


في شاشة حسابات الجي بي أس GPS-Proc (شريط الأدوات السفلي بالنافذة) نجد عرض لمعلومات الملفات الأصلية التي تم تحميلها. تنقسم الشاشة إلي جزأين: في الجزء الأيسر عرض لتفاصيل معلومات كل نقطة مرصودة، بينما الجزء الأيمن تمثيل بياني لوقت الرصد في كل نقطة من النقاط المرصودة.

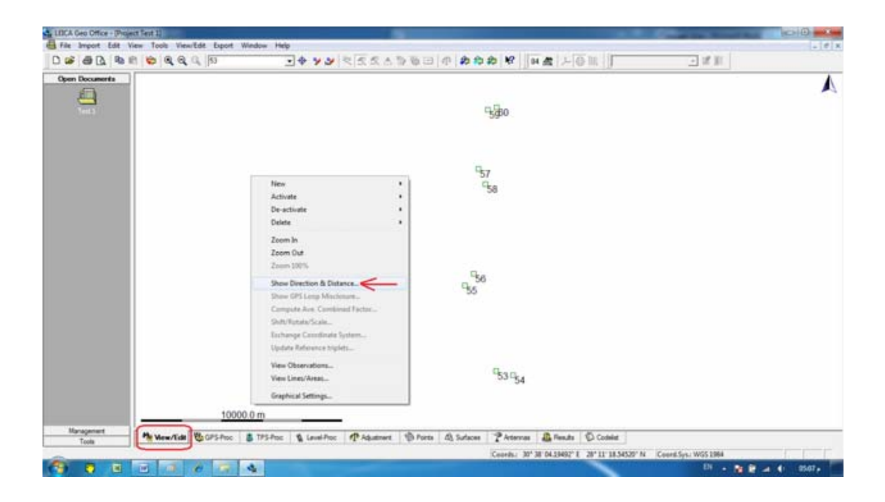
من المهم مراجعة هذه البيانات بدقة قبل البدء في حسابات خطوط القواعد. فعلي سبيل المثل فأن فترة الرصد Duration لكل نقطة تبين أن الجهاز كان يعمل متصلا دون أية مشاكل طوال فترة الرصد. أيضا فأن نوع طريقة الرصد Static - في المثال الحالي – تبين أن جميع الأجهزة كانت تعمل في الرصد الثابت، فأحيانا يخطأ المستخدم في اختيار نوع طريقة الرصد في بداية العمل الحقلي ويختار مثلا الرصد المتحرك Kinematic فنستطيع اكتشاف هذا الخطأ في الشاشة الحالية.

من المعلوم أن قياس ارتفاع الأنتنا أصبح أكثر مصادر الأخطاء البشرية في أرصاد الجي بي أس، فهذه التقنية تكاد تكون آلية بنسبة كبيرة جدا إلا في جزئيتين يقوم المستخدم بعملهم بنفسه وقد يخطأ في أيا منهما: ضبط تسامت الجهاز علي النقطة المحتلة و قياس ارتفاع الأنتنا. من الأفضل لمستخدم الجي بي أس أن يقوم بتسجيل ارتفاع الأنتنا – عند كل نقطة – في كشف خارجي بالإضافة لقيامه باد\خالها للجهاز أثناء عملية ضبط الجهاز في الموقع وبدء الرصد. فربما يقوم بإدخال قيمة خطأ في الجهاز، ففي هذه الحالة يمكنه الآن (في الشاشة الحالية) من مراجعة قيمة هذا الارتفاع وتصحيحه إن كان به خطأ قبل البدء في الحسابات.

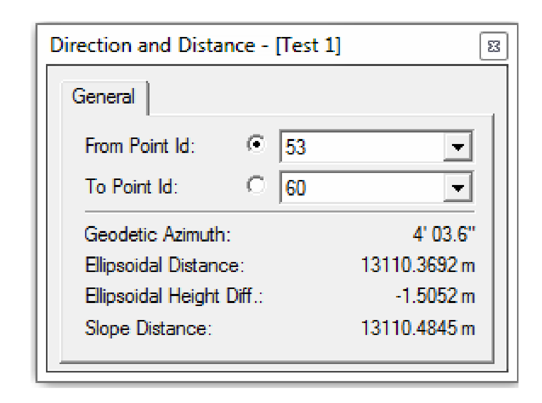
أيضا يمكننا الجزء الأيمن من الشاشة أن نعرف قيمة فترة الرصد المشتركة بين جميع الأجهزة (جميع النقاط) التي تشترك في فترة الرصد session الحالية. فكما نري في الشكل التالي أن بعض الأجهزة لها أرصاد Duration أكثر من ساعتين بينما البعض الآخر له أرصاد ساعة و ١٩ دقيقة فقط. كما نري أن الجزء المشترك بين جميع الأجهزة هو في الفترة من ١٠:٤٥ إلي ١١:٤٥ تقريبا.



إذا ضغطنا أيقونة View/Edit من شريط الأدوات الأسفل فنري مواقع المحطات وإحداثياتها التقريبية. فـإذا ضـغطنا بالمـاوس الأيمن تظهر نافذة نختار منها أمر Show Direction & Distance:



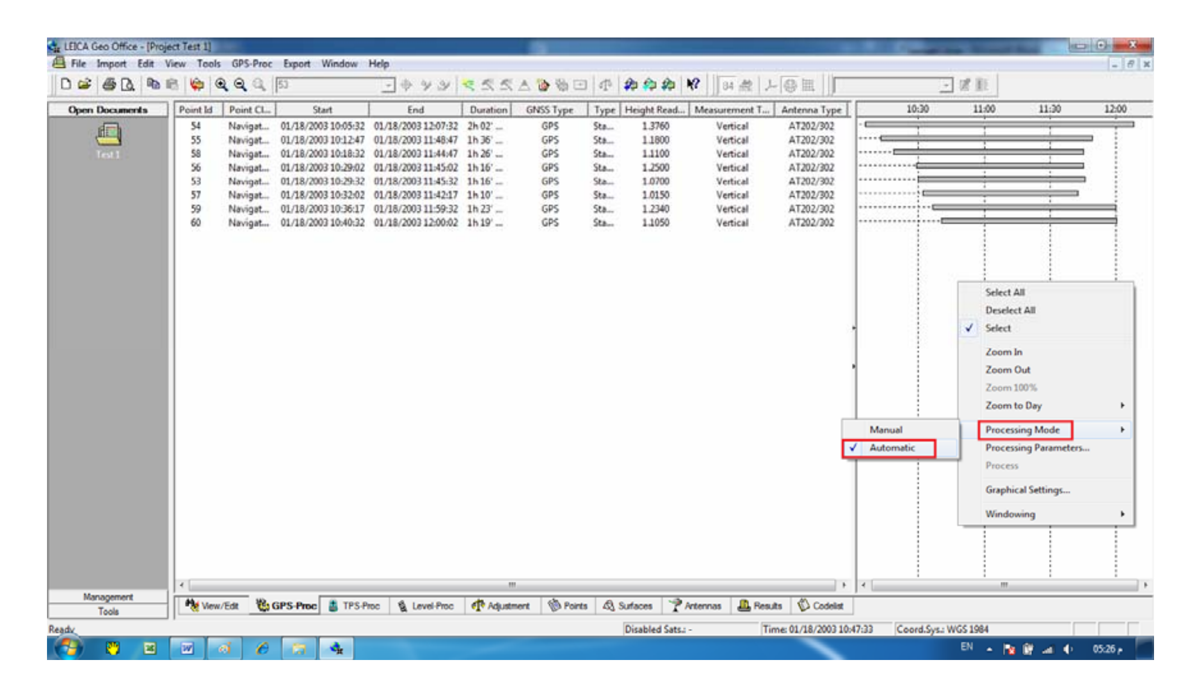
لكي نعرف المسافة و الانحراف بين أي نقطتين في الشبكة الحالية نختار أول نقطة (رقم ٥٣ في المثـال الحـالي) أمـام أمر From Point ونختـار آخر نقطة (رقم ٦٠) أمام أمر To Point فيعرض البرنـامج لنا المسافة المائلة Slope Distance و فرق الارتفاع Ellipsoidal Height Diff والانحراف الجيوديسي Geodetic Azimuth والمسافة علـي الالليبسويد Ellipsoidal Distance بين هاتين النقطتين:



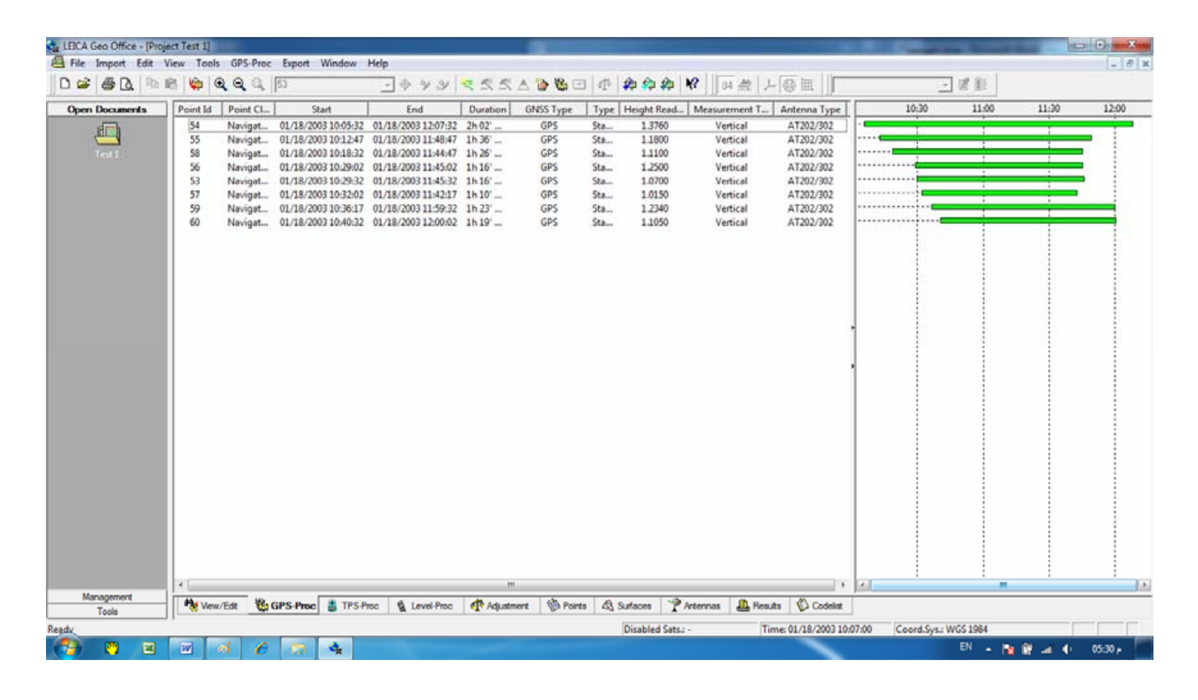
أي أن الشبكة الحالية تمتد مسافة ١٣١١٠ متر بين أول و آخر نقطتين بها. وكل هذه الخطوات بهدف فحص الشبكة و معلوماتها قبل البدء في الحسابات الفعلية.

٩-٢-١ الحسابات بعناصر البرنامج نفسه (الحساب الآلي Automatic Processing)

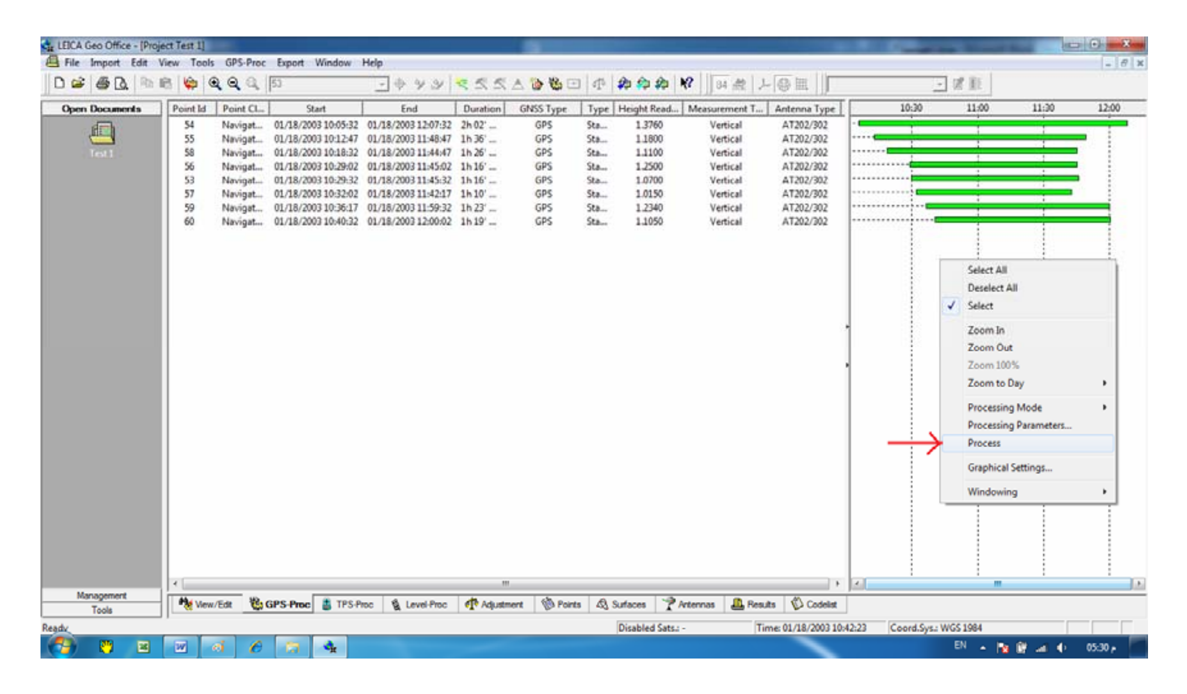
لبدء الحسابات بالطريقة الآلية (عناصر الحساب التي يحددها البرنامج بنفسه) نضغط بالماوس الأيمن في يمين الشاشة ومن النافذة نختار أمر طريقة الحسابات Processing Mode ومنها نختار الطريقة الآلية Automatic:



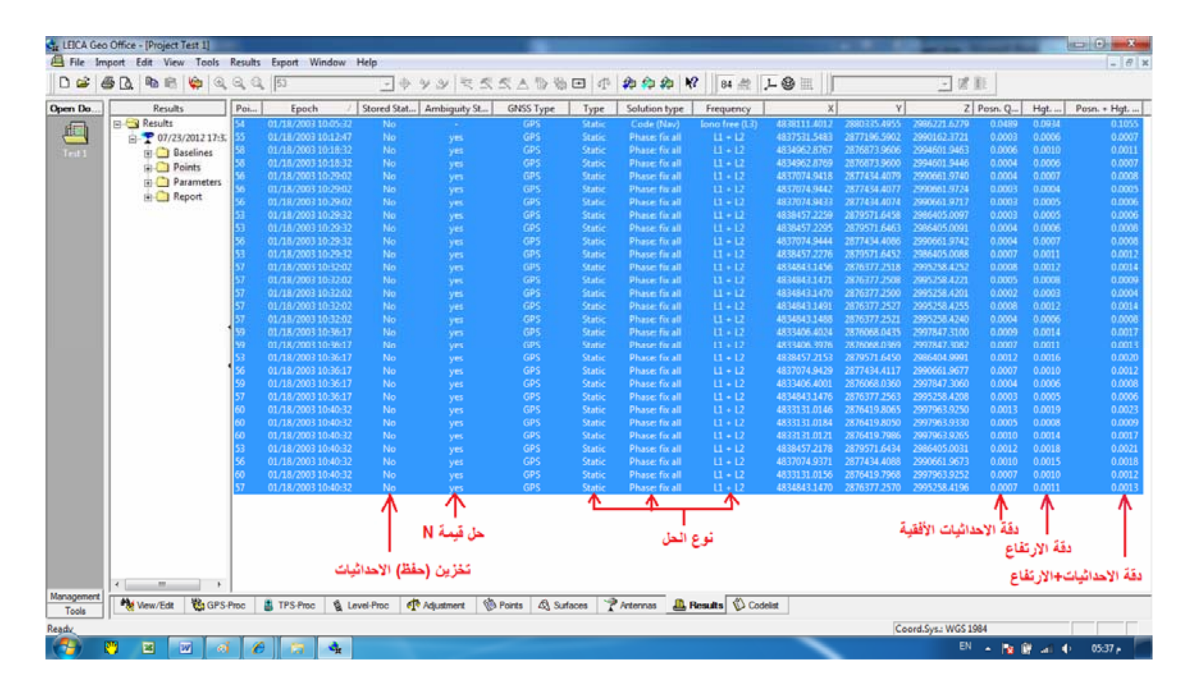
نضغط بالماوس علي كل خط أرصاد (كل نقطة مرصودة) في يمين الشاشة ليتم اختيارها و تتحول إلي اللون الأخضر:



ثم نضغط بالماوس الأيمن و من النافذة نختار أمر بدء الحسابات Process:



بعد عدة ثواني (طبقا لعدد نقاط الشبكة الحالية) يبدأ ظهور نتائج الحل، وتكون أول شاشات النتائج هي شاشة إحداثيات النقاط:



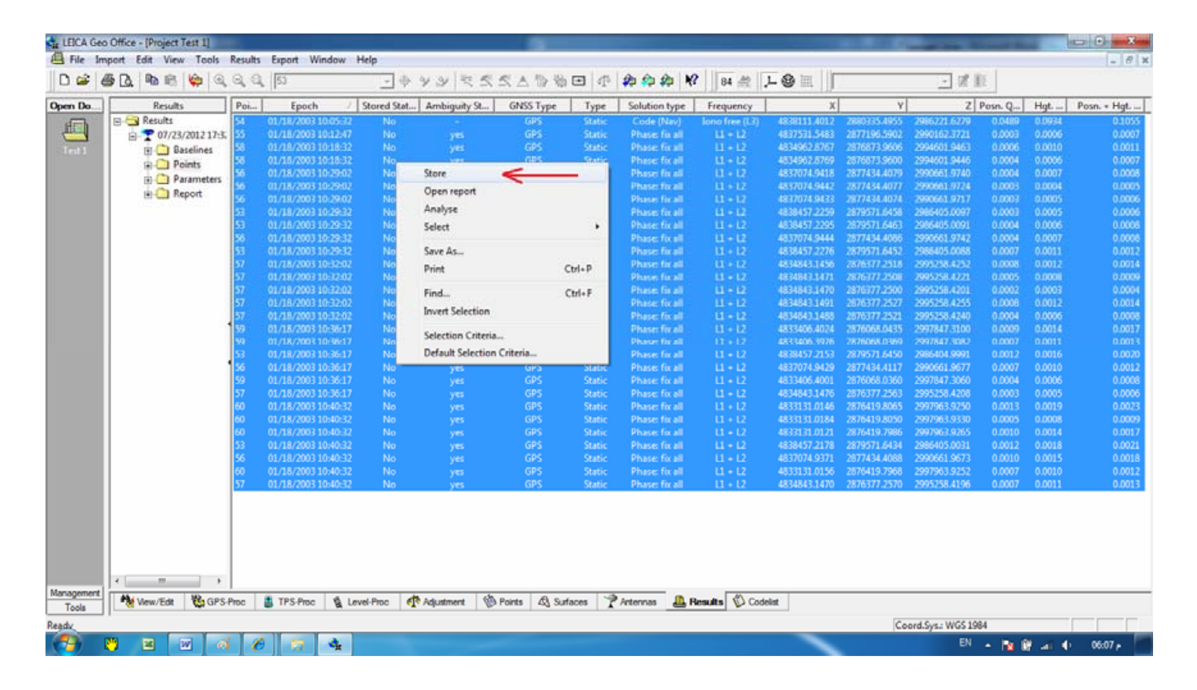
<u>من المهم فحص هذه النتائج بدقة و تمعن:</u>

– عمود أو خانة Ambiguity Status تحدد لنا هل تم الوصول لقيمة ثابتة Fixed لفرق طور الإشارة Ambiguity عند كل نقطة أم لا. كما سبق الذكر فأن هذا الخطأ N هو أهم مصادر الأخطاء لأرصاد الجي بي أس الثابتة للمسافات القصيرة (أقل من ٥٠ كيلومتر) وإذا تم الوصول لقيمة ثابتة N Fixed فهذا مؤشر علي الدقة العالية لخط

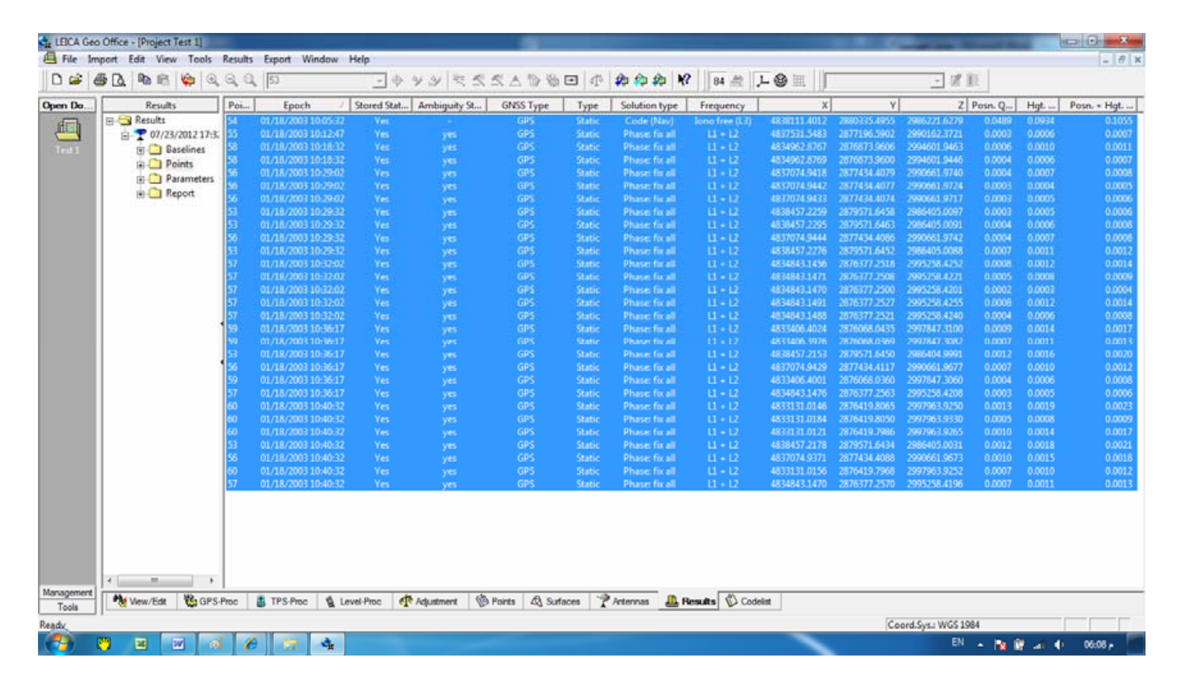
القاعدة. في المثال الحالي نجد أن جميع النقاط قد تم حل قيمة N لها ماعدا أول نقطة (رقم ٥٤).

- عمود نوع الحل Solution Type يبين لنا نوع الحل عند كل نقطة من نقاط الشبكة. نجد أن كل النقاط لها حل Phase Fix All أي تم تثبيت N في أرصاد طور الإشارة، ماعدا النقطة الأولي – رقم ٥٤ – والتي لها حل Iono-Free علي أرصاد Code. والسبب في ذلك أن البرنامج لكي يستطيع حساب خطوط القواعد جب أن يعرف إحداثيات نقطة واحدة من نقاط الشبكة وذلك عن طريق تثبيت إحداثيات أي نقطة (أول نقطة هنا) الناتجة من أرصاد الشفرة أي إحداثياتها التقريبية الملاحية.
- نلاحظ أن لكل نقطة من نقاط الشبكة (ماعدا أول نقطة رقم ٥٤) لها أكثر من سطر في النتائج، أي لها أكثر من قيمة من قيم الإحداثيات. حيث أن كل نقطة مربوطة مع أكثر من نقطة أخري في أكثر من خط وبالتالي سينتج لها قيم إحداثيات من كل خط قاعدة من هذه الخطوط.
- عمود أو خانة Position Quality يعطي قيمة دقة الإحداثيات الأفقية عند كل نقطة. نلاحظ أن الدقة تقريبا ١ ملليمتر أو أقل لكل النقاط ماعدا أول نقطة رقم ٥٤ (إحداثياتها تقريبية).
- عمود أو خانة Height Quality يعطي قيمة دقة الإحداثيات الرأسية أو الارتفاع عند كل نقطة.
- عمود أو خانة Position + Height Quality يعطي قيمة دقة الإحداثيات الأفقية و الرأسية (ثلاثية الأبعاد) عند كل نقطة. نلاحظ أن الدقة لجميع النقاط (ماعدا ٥٤) تقريبا في حدود عدة ملليمترات مما يدل علي جودة الأرصاد الأصلية وعدم وجود أي مشاكل بها.

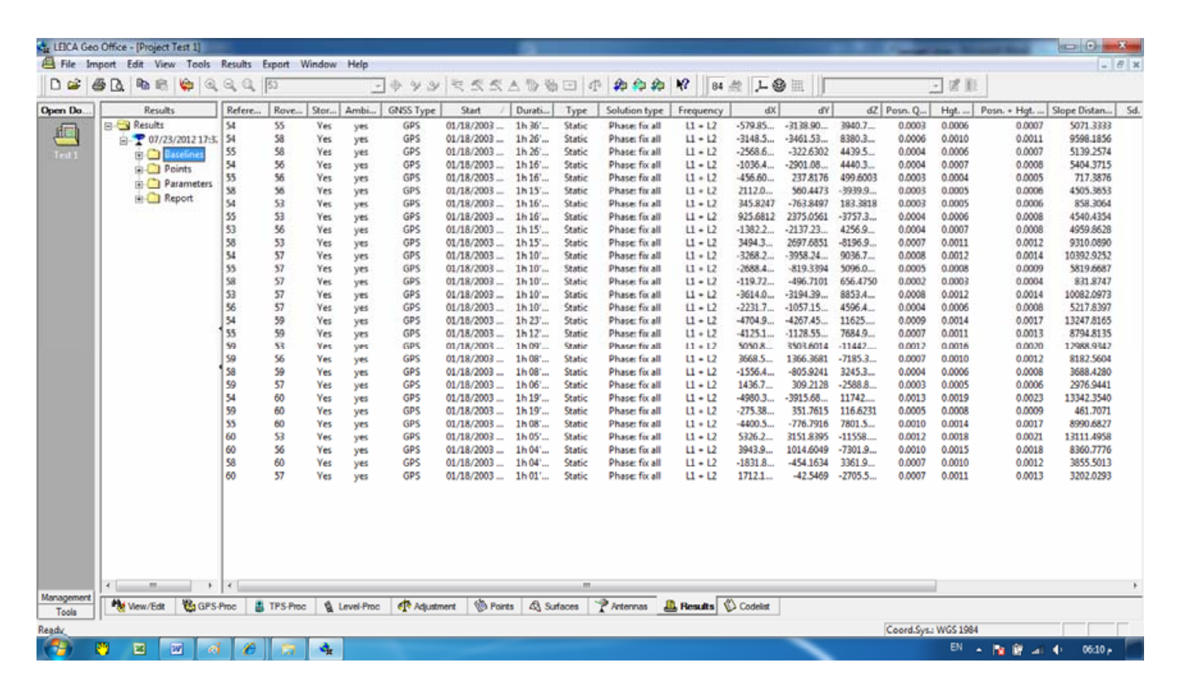
الخطوة التالية هي حفظ هذه النتائج. طالما أن عمود Ambiguity يدل علي دقة الحلول كلها (yes تعني أنه تم الوصول لقيمة N ثابتة) فسنحفظ الحلول كلها. أما في حالة أن أحد النقاط ظهرت أمامها كلمة No في هذا العمود فيجب أن نضغط عليها بالماوس (نزيل التظليل الأزرق من هذا الخط) حتى لا يتم حفظها. نضغط بالماوس الأيمن ومن النافذة نختار أمر حفظ Store:



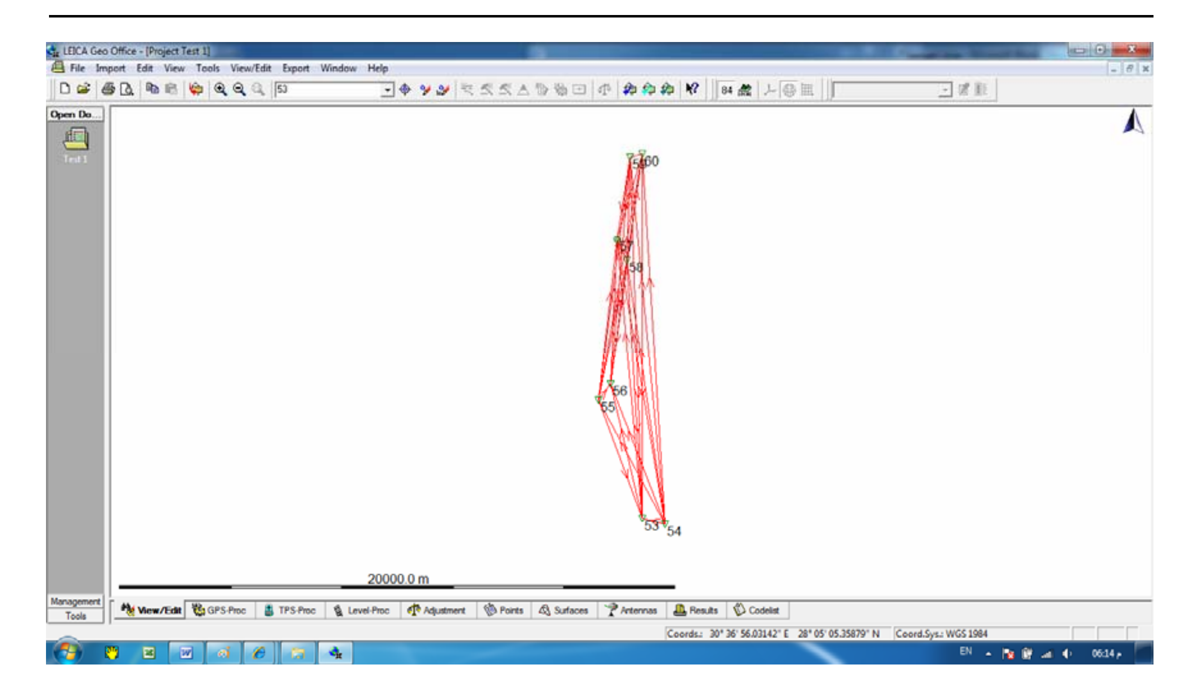
فنجد أن عمود Stored Status قد تغير كله إلي كلمة Yes أي تم الحفظ:



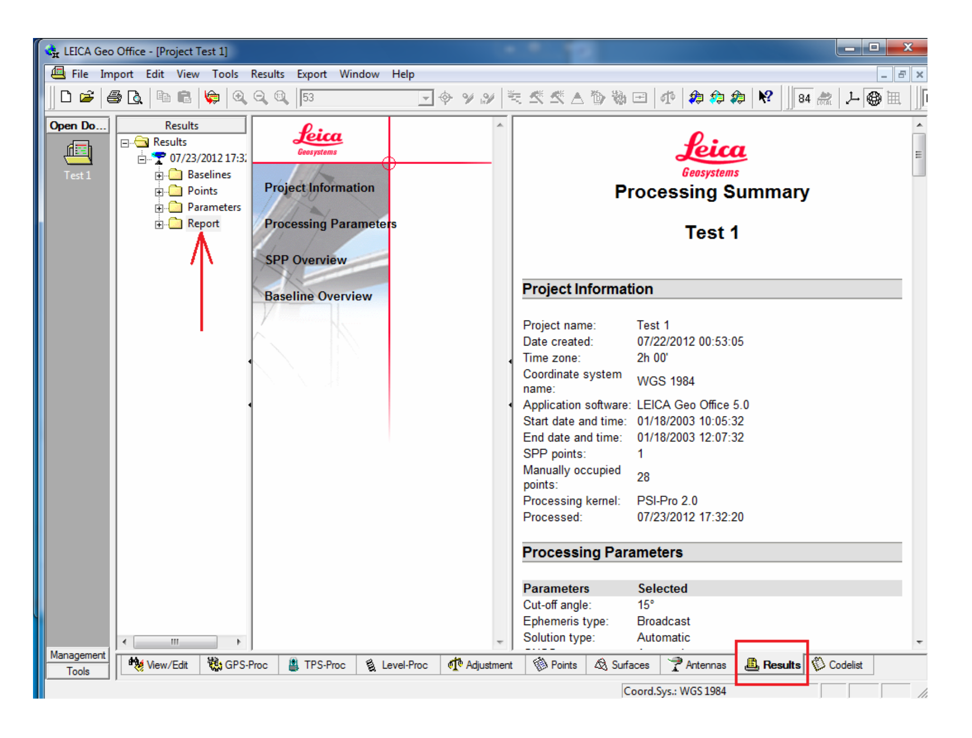
لروية نتائج خطوط القواعد (وليس نتائج النقاط) نضغط أمر Baselines في الجزء الأيسر من الشاشة. نلاحظ أن عمود نوع الحل Solution Type يحتوي كله (لجميع الخطوط) علي نوع Phase Fix All أي الحل الثابت لأرصاد الطور (أدق و أفضل الحلول المتاحة لخطوط القواعد القصيرة).



لرؤية رسم لشبكة خطوط القواعد التي تم التوصل اليها نضغط أيقونة View/Edit من شريط الأدوات السفلي للبرنامج:



يمكن في أي وقت فحص نتائج الحسابات من خلال الضغط علي أيقونة النتائج Results في شريط الأدوات السفلي للبرنامج، ثم الضغط علي أيقونة تقرير Report من الجزء الأيسر لعرض التقرير الكامل لحسابات خطوط القواعد.

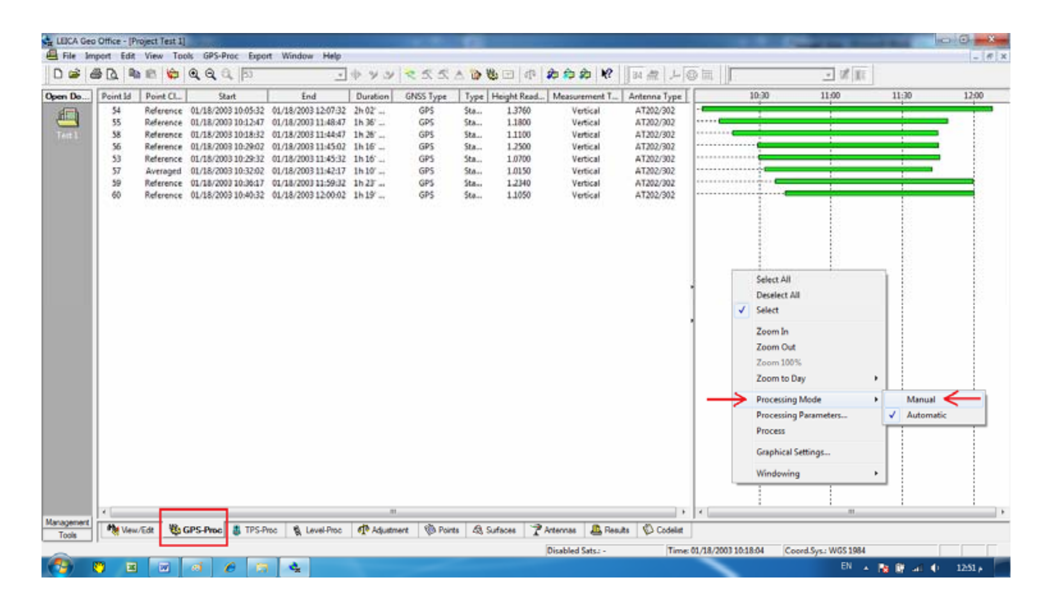


برنامج LGO لا يحتاج لأمر Save حيث أنه يخزن النتائج أولا بأول (من أهم مميزات البرنامج من وجهة نظر بعض المستخدمين)، فيمكن غلق البرنامج ونحن متأكدون أن ما توصلنا إليه من نتائج قد تم تخزينها آليا.

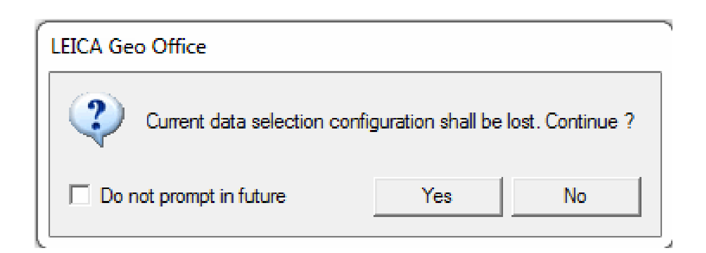
٩-٢-٢ الحسابات بعناصر منتقاة (الحساب اليدوي Manual Processing)

في الجزء السابق قمنا باستخدام خطوة الحساب الآلي لإجراء حسابات خطوط القواعد، وهي خطوة يقوم البرنامج بتنفيذها باستخدام قيم معينة لعناصر الحساب Default Processing Parameters. هذه الخطوة أو الطريقة تصلح لمستخدم الجي بي أس المبتدئ حيث تمكنه من الحصول علي النتائج بسرعة. لكن علي المستخدم المتقدم أن يفحص معاملات عناصر الحساب ويحدد بنفسه إن كانت تتطلب أية تغييرات أم لا، فأحيانا يكون المشروع بهدف إنشاء شبكة جيوديسية عالية الدقة تصلح كأساس لشبكات تفصيلية أخري للرفع المساحي في منطقة العمل. وفي مثل هذه الحالة نريد أن نتأكد أن عناصر الحساب المستخدمة فعلا ستسمح لنا بالحصول علي دقة عالية في خطوط القواعد (**أهم خطوات** الجي بي أس لأن كل الخطوات اللاحقة ستعتمد علي نتائج خطوط القواعد). من هنا فيجب تعلم إجراء الحسابات يدويا ، أي باستخدام قيم مختلفة لعناصر و طريقة إجراء حسابات خطوط القواعد.

نضغط أيقونة الحسابات GPS-Proc من شريط الأدوات السفلي للعودة لشاشة حسابات خطوط القواعد ثم نضغط الماوس الأيمن (في الجزء الأيمن من الشاشة تحت الخطوط) ومن النافذة نختار أمر طريقة الحساب Processing Mode ثم نختار الطريقة اليدوية Manual

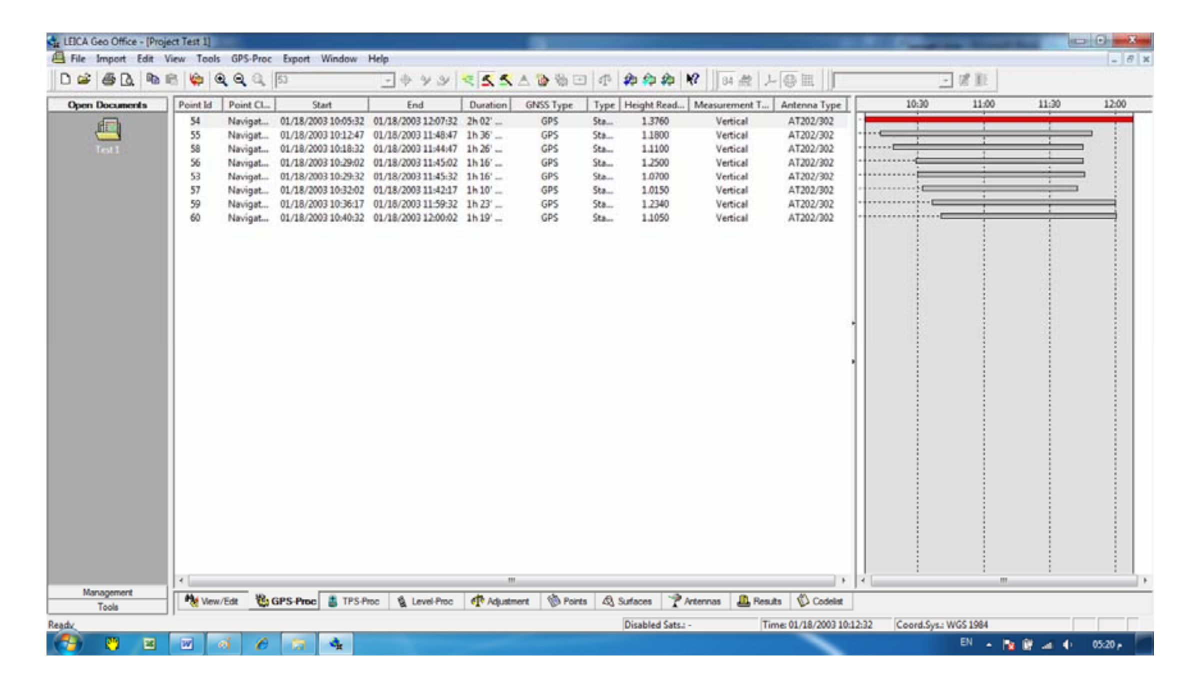


تظهر رسالة تحذيرية أن طريقة اختيار الخطوط الحالية سيتم إلغاؤها، نضغط Yes:

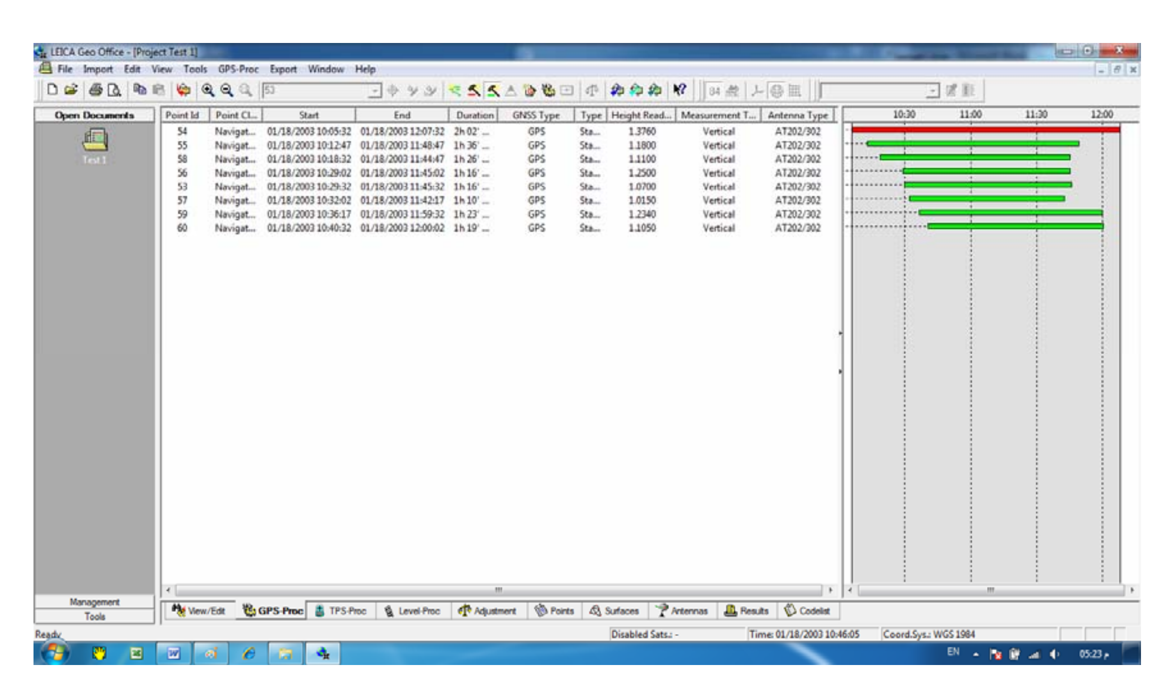


لحساب خطوط القواعد Base Lines في هذه الشبكة فمطلوب أن نختار أحد نقاط الشبكة (أي نقطة) لنعتبرها نقطة مرجعية Reference بينما باقي النقاط سيتم اعتبارها نقطة غير مرجعية Rover. يتم ذلك باستخدام أيقونتي Reference و أيقونة Rover من

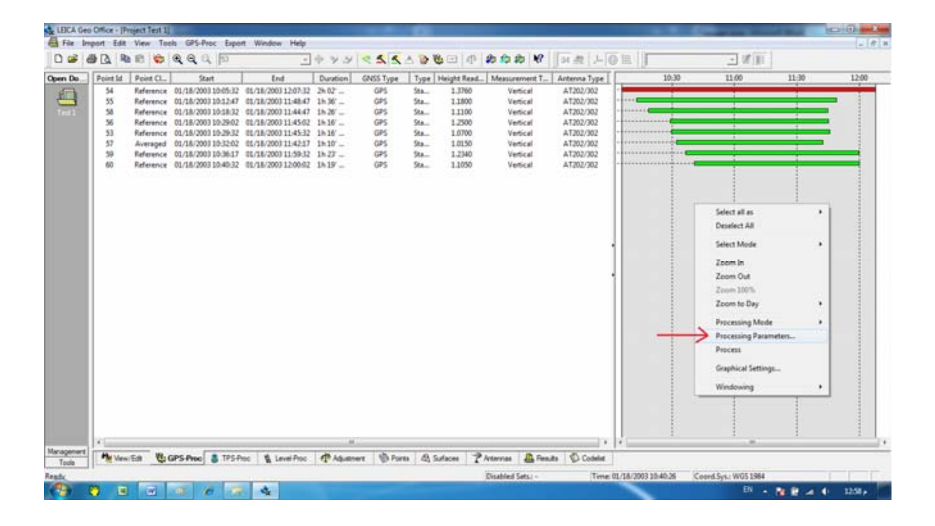
شريط الأدوات العلوي بالبرنامج. نبدأ بالضغط علي أيقونة ثم نضغط بالماوس علي ملف أول نقطة (رقم ٥٤) في الجزء الأيمن من الشاشة فيتغير لون أرصاد هذه النقطة إلي اللون الأحمر (أي أنها أصبحت نقطة مرجعية الآن):



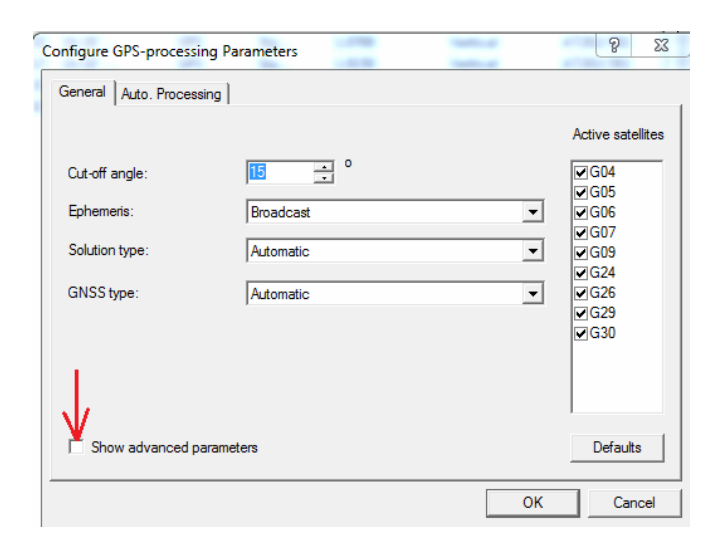
ثم نضغط علي أيقونة ونضغط بالماوس علي ملفات باقي النقاط في الجزء الأيمن من الشاشة فيتغير لون أرصاد هذه النقاط إلي اللون الأخضر:



بالضغط بالماوس الأيمن ومن النافذة نختار أمر عناصر الحسابات Processing Parameters :



لعرض جميع عناصر الحسابات نضع علامة صح أمام لأمر عرض العناصر المتقدمة Show advanced parameters:

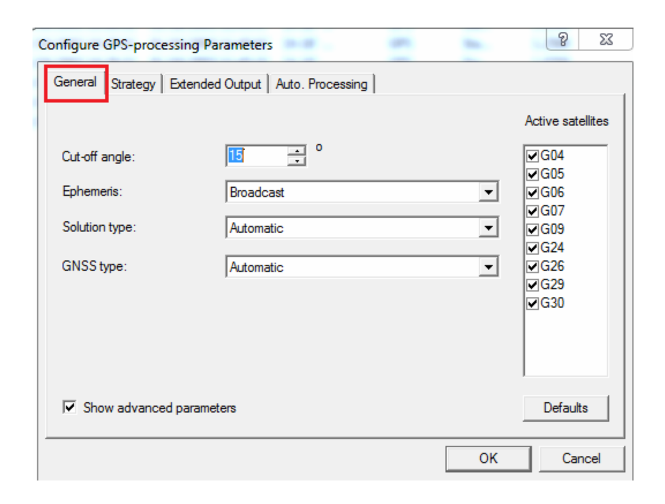


<u>المجموعة الأولى: العناصر العامة General وتحتوي:</u>

- قيمة زاوية القطع أو زاوية القناع Cut-off angle: الزاوية الرأسية المقاسة من خط الأفق عند موقع الرصد والتي لا يتم تسجيل إشارات الأقمار الصناعية إن كانت زاوية الإشارة أقل من قيمة زاوية القناع. أهمية هذه الزاوية أنها تمنع تسجيل إشارات الأقمار الصناعية التي تكون شبه أفقية بالنسبة لموقع الراصد حيث أن هذه الإشارات ستكون قد مرت في مسافة كبيرة من طبقات الغلاف الجوي مما يجعل خطأ طبقتي الأيونوسفير و التروبوسفير كبير في هذه الإشارات وبالتالي فمن الأفضل عدم استخدام هذه الأرصاد في الحساب. القيمة المتعارف عليها لزاوية القناع هي ألا تقل عن ١٥°.
- نوع مدارات الأقمار الصناعية Ephemeris: يوجد لدينا اختيارين إذا ضغطنا السهم الأسود الصغير: (١) المدارات كما تم بثها من الأقمار الصناعية ذاتها Broadcast ، (٢) المدارات الدقيقة Precise (والتي يمكن الحصول عليها من موقع المنظمة العالمية IGS كما سيأتي شرحه لاحقا).
- نوع الحل Solution Type: يوجد لدينا عدة اختيارات إذا ضغطنا السهم الأسود الصغير: الحل الآلي Automatic، الحل الثابت باستخدام أرصاد الطور Phase all

fix، الحل الثابت باستخدام أرصاد الطور في الجي بي أس مع الحل غير الثابت لأرصاد تقنية الجلوناس Phase: GPS fix, GLONASS float، الحل بأرصاد الشفرة Code، الحل غير الثابت Float. الحل الآلي هو الأفضل لأن البرنامج – في هذه الحالة – يحاول حساب جميع الحلول الأخرى ثم يختار أفضل أو أدق نتائجها.

– نوع تقنية الأقمار الصناعية GNSS: في حالة أن جهاز الاستقبال لديه القدرة علي استقبال إشارات أقمار الجي بي أس وأيضا أقمار الجلوناس فيمكن هنا اختيار إن كانت أرصاد كلاهما ستستخدم في الحسابات أم نستخدم أرصاد الجي بي أس فقط.



<u>المجموعة الثانية: عناصر إستراتيجية الحسابات Strategy وتحتوى:</u>

– تردد الأقمار الصناعية Frequency: تشمل الخيارات التالي: الاختيار الآلي Automatic، اختيار تردد L1 فقط للأجهزة أحادية التردد، اختيار تردد L2 فقط، اختيار كلا من L1+L2، اختيار الترددين مع حذف تأثير طبقة الأيونوسفير حسابيا Iono-free (برنامج LGO يسمي هذا الخيار باسم L3). الاختيار الآلي هو الأفضل هنا لان البرنامج يحاول الحساب بكافة الخيارات الأخرى و يختار أدقهم.

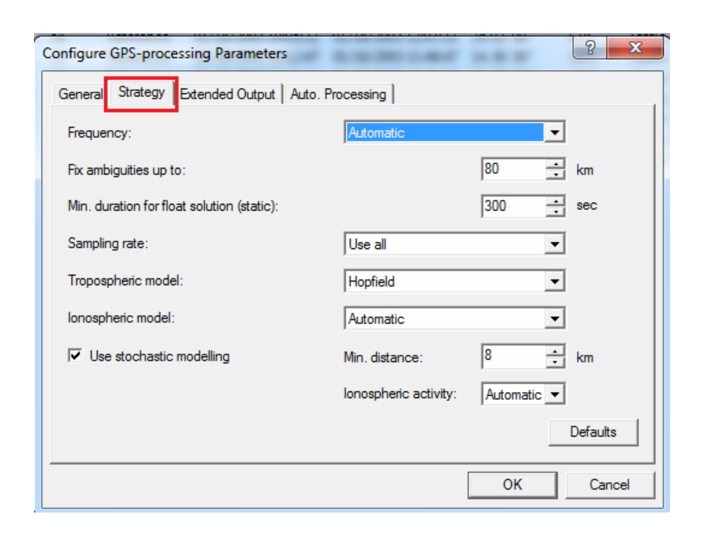
– أقصى مسافة لتثبيت خطأ الطور Fix ambiguity up to: معظم المراجع الدولية تنص علي أن قيمة خطأ الطور يمكن حسابها بدقة – أي تثبيتها – في خطوط القواعد القصيرة حتى ٧٠-٨٠ كيلومتر.

– أقل فترة زمنية للحل غير الثابت Minimum duration for float static solution: في حالة عدم الوصول للحل الثابت في أرصاد الشبكات فيمكن محاولة الوصول لحل غير ثابت float بشرط توافر أرصاد لمدة لا تقل عن ٥ دقائق (٣٠٠ ثانية).

– معدل البيانات Sampling rate: الفترة الزمنية بين رصدتين متتاليتين من نفس القمر الصناعي. للأرصاد الثابتة static يفضل أن يكون هذا المعدل ١٥ ثانية لكن للأرصاد المتحركة فنستخدم معدلات أقل من هذا. أول اختيارات البرنامج – هنا - هو خيار Use all أي استخدام كل البيانات المتاحة.

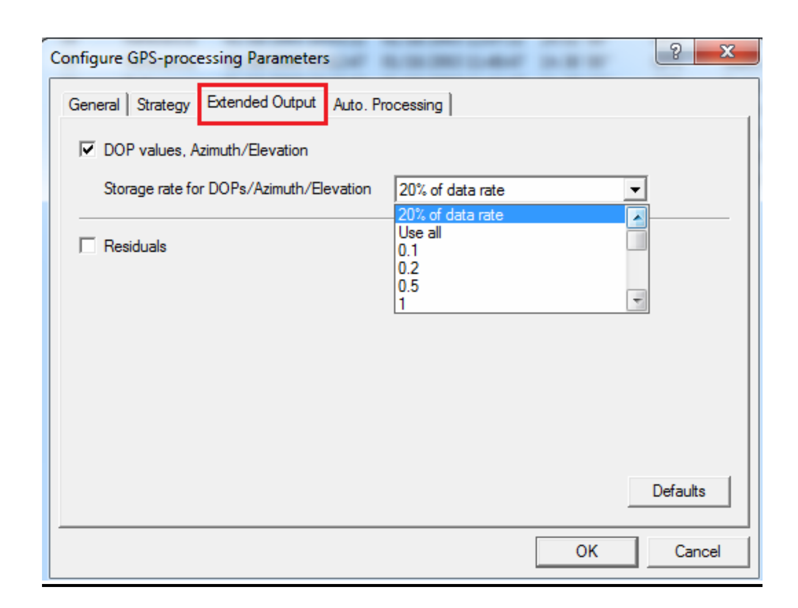
– نموذج حساب خطأ التروبوسفير Tropospheric model: يسمح برنامج LGO بعدة نماذج لحساب قيمة تأثير طبقة التروبوسفير علي أرصاد الجي بي أس (مثل نماذج Hopfiled, Sasstamionen, Essan) وكلها نماذج عالمية موثوق بها.

- نموذج حساب خطأ الأيونوسفير Ionospheric model: يسمح برنامج LGO بعدة نماذج لحساب قيمة تأثير طبقة الأيونوسفير علي أرصاد الجي بي أس وكلها نماذج عالمية موثوق بها.
- نشاط الأيونوسفير Ionospheric Activity: إن كانت لدينا معلومات عن طبيعة نشاط الأيونوسفير في وقت الرصد (من مواقع محطات الأرصاد العالمية) فيمكن تحديد طبيعة هذا النشاط (إن كان بسيط Low أو متوسط Medium أو عالي High)، وإلا فنترك الخيار الآلي Automatic.



المجموعة الثالثة: عناصر النتائج الإضافية Extended Output وتحتوى:

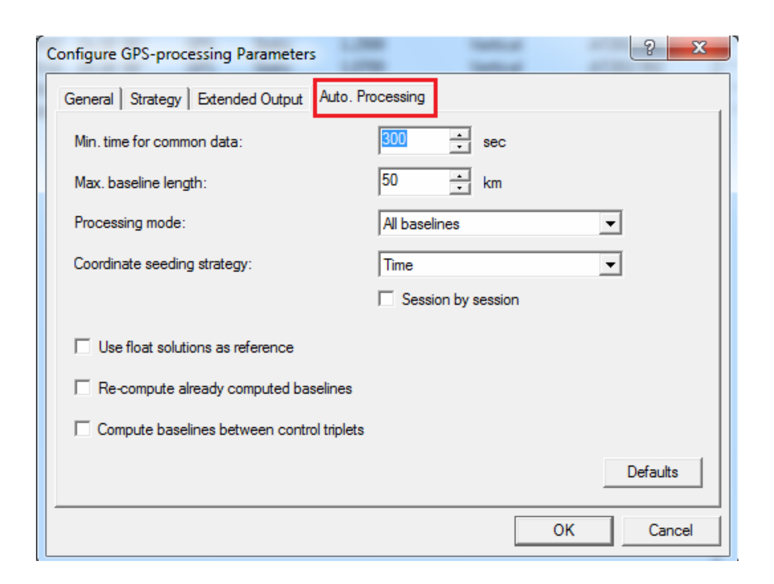
- كتابة قيم معامل الدقة و انحراف وارتفاع الأقمار الصناعية في تقرير النتائج DOP values, Azimuth/Elevation: إذا وضعنا علامة صح أمام هذا الأمر فسيقوم البرنامج بحساب هذه القيم و عرضها في تقرير النتائج (إذا أردنا فحصها الدقيق لاحقا). وفي هذه الحالة نحدد للبرنامج الفترة – بالثواني - التي نريد عندها حساب هذه القيم.
- كتابة قيم الأخطاء المتبقية للأرصاد في تقرير النتائج Residuals: إذا وضعنا علامة صح أمام هذا الأمر فسيقوم البرنامج بحساب هذه القيم و عرضها في تقرير النتائج (إذا أردنا فحصها الدقيق لاحقا).



المجموعة الرابعة: عناصر الحساب الآلي Auto Processing وتحتوي:

هذه العناصر تحتوي القيم التي يطبقها البرنامج عند إجراء الحسابات بالصورة الآلية Automatic، ومع ذلك يتيح البرنامج للمستخدم أن يقوم بتغيير أيا من هذه القيم:

- أقل وقت للأرصاد المشتركة بين النقاط Minimum time for common data: أي يجب توافر بيانات مشتركة زمنيا بين النقاط المرصودة لمدة لا تقل عن ٣٠٠ ثانية (٥ دقائق) حتى يمكن حساب خطوط القواعد بين هذه النقاط.
- أقصى طول لخط القاعدة Maximum baseline length: القيمة المقترحة من البرنامج هي ٥٠ كيلومتر.
- طريقة الحسابات Processing Mode: إما حساب جميع الخطوط بين النقاط المرصودة All Baselines أو حساب الخطوط المستقلة فقط Independent Baselines (أرجع لخصائص ضبط أقل المربعات لتفاصيل أكثر)، الخيار الأول هو الأفضل.
- طريقة تغير الأرصاد Coordinate seeding strategy: إذا اخترنا المسافة Distance فأن البرنامج سيبدأ في حساب أول خط قاعدة بين أول نقطة (النقطة المرجعية) وأقرب نقطة لها، ثم خط القاعدة الثاني لثاني أقرب نقطة .... وهكذا. أما إذا اخترنا الوقت Time فأن البرنامج سيبدأ في حساب أول خط قاعدة بين أول نقطة (النقطة المرجعية) والنقطة التي لها أطول وقت رصد مشترك مع النقطة المرجعية، ثم خط القاعدة الثاني لثاني نقطة لها ثاني أطول وقت رصد مشترك .... وهكذا.



الخلاصة أن برنامج LGO (مثله مثل أي برنامج حسابات جي بي أس) يتيح للمستخدم المتقدم أن يغير أيا من عناصر الحسابات بشرط أن يكون ذا خبرة تمكنه من اختيار و استخدام عناصر أكثر دقة في تنفيذ عملية حسابات خطوط القواعد. أما المستخدم المبتدئ فعلية الاعتماد علي عناصر الحسابات الآلية التي حددها البرنامج.

٩-٢-٣ الحسابات بمدارات دقيقة

٩-٢-٣-١ الحصول على ملفات المدارات الدقيقة

تتأثر الأقمار الصناعية في الفضاء بعدة مصادر للأخطاء خاصة تأثير الغلاف الجوي مما يجعل مداراتها الفعلية لا تنطبق مع المدارات المصممة لها. ومن ثم فأن بيانات المدار المرسلة داخل إشارات الأقمار الصناعية لمستخدمي الجي بي أس Broadcast Ephemeris لا تكون بدقة عالية خاصة للتطبيقات الجيوديسية. في عام ٢٠٠٢م تم تأسيس المنظمة العالمية للجي بي أس International GPS Service (اختصارا IGS) ليكون من بين أهدافها إعادة حساب القيم الدقيقة لمدارات أقمار الجي بي أس – من خلال تحليل أرصاد حوالي ٣٥٠ محطة استقبال أرضية – ونشر هذه المدارات الدقيقة Precise Ephemeris or Price Orbits للمستخدمين حول العالم مجانا (http://igscb.jpl.nasa.gov/). امتد نشاط هذه المنظمة ليشمل أيضا حساب مدارات أقمار الجلوناس وبالتالي تغير أسمها إلي المنظمة العالمية لتقنيات تحديد المواقع International GNSS Service (مازال الاختصار كما هو IGS).

تنتج منظمة IGS عدة أنواع من مدارات الجي بي أس كالتالي (http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html):

١. المدار النهائي الدقيق Final: وهو بدقة تقريبا ٢.٥ سنتيمتر ويكون متاحا بعد فترة ١٢-١٨ يوم (من تاريخ الرصد).
٢. المدار السريع Rapid: وهو بدقة تقريبا ٢.٥ سنتيمتر ويكون متاحا بعد فترة ١٧-٤١ ساعة.
٣. المدار السريع جدا نصف مرصود Ultra-Rapid Observed Half: وهو بدقة تقريبا ٣.٠ سنتيمتر ويكون متاحا بعد فترة ٣-٩ ساعات.
٤. المدار السريع جدا نصف متنبئ Ultra-Rapid Predicted Half: وهو بدقة تقريبا ٥.٠ سنتيمتر ويكون متاحا آنيا real-time.

علما بأن المدار المرسل من الأقمار الصناعية Broadcast يكون بدقة تقريبا ١٠٠ سنتيمتر.

كما يتم حساب تصحيحات لساعات الأقمار الصناعية أيضا في كل مدار من المدارات السابقة. وأيضا تنتج منظمة IGS مدارات دقيقة لأقمار الجلوناس وكذلك قيم دقيقة لعناصر دوران الأرض Earth rotation وعناصر حركة القطب الشمالي Polar motion. وجميع منتجات IGS متاحة في عدة مواقع للجهات العلمية الدولية المشتركة في هذه المنظمة و منهم ٣ مراكز في الولايات المتحدة الأمريكية CDDIS, SOPAC, IGS-CB بالإضافة للمركز الفرنسي IGN والمركز الكوري الجنوبي KASI. سنتناول في الجزء التالي طريقة تحميل المدارات الدقيقة النهائية Final Precise Orbits (لأقمار الجي بي أس) من أحد هذه المواقع. تجدر الإشارة إلي أن بعض برامج software حسابات الجي بي أس لديها إمكانية تحميل المدارات مباشرة (من داخل البرنامج) دون الحاجة لخطوات خاصة.

امتدادات ملفات المدارات المتاحة في IGS:

- الامتداد z: ملف مضغوط (يمكن إزالة الضغط عنه ببرامج الضغط المعروفة مثل winzip or winrare).
- الامتداد sp3: مدارات الأقمار الصناعية
- الامتداد erp: عناصر دوران الأرض

- الامتداد sum: ملف تقرير
- الامتداد clk or cls: تصحيحات ساعات الأقمار الصناعية

<u>مصطلحات بدايات أسماء ملفات المدارات المتاحة في IGS:</u>
- النوع igu في بداية اسم الملف: المدار السريع جدا
- النوع igr في بداية اسم الملف: المدار السريع
- النوع igs في بداية اسم الملف: المدار الدقيق أو النهائي

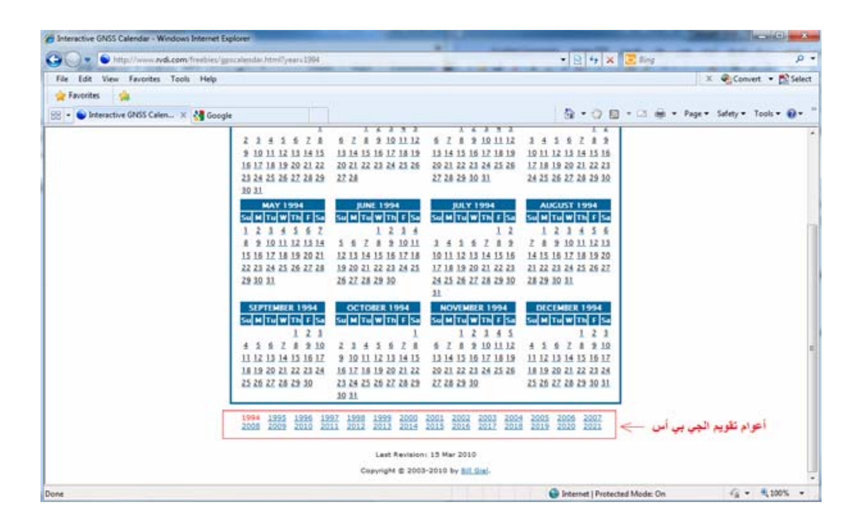
فمثلا الملف igswwwwd.sp3.z هو:
- ملف مضغوط (الامتداد z)
- ملف مدارات أقمار صناعية (الامتداد sp3)
- ملف مدارات نهائية أو دقيقة (igs في بداية اسم الملف)
- wwww: ٤ أرقام تدل علي رقم الأسبوع في تقويم الجي بي أس.
- d : رقم واحد يدل علي رقم اليوم في الأسبوع (يوم الأحد = ٠ إلي يوم السبت = ٦).

فمثلا الملف igs12345.sp3.z هو:
1234: الأسبوع رقم ١٢٣٤ في تقويم الجي بي أس.
5 : اليوم الخامس في هذا الأسبوع (يوم الجمعة).

بدأ تقويم الجي بي أس في يوم ٥ يناير ١٩٨٠م ليكون بداية الأسبوع الأول في التقويم. يبدأ كل أسبوع جديد في الساعة ١٢ منصف الليل – بتوقيت جرينتش – من بداية يوم الأحد. إذن لتحميل أي ملف من ملفات المدارات الدقيقة يجب أن نعرف – مسبقا – رقم الأسبوع و رقم اليوم في تقويم الجي بي أس المناظر ليوم الرصد العملي الذي قمنا به في مشروعنا. توجد عدة مواقع لمعرفة تقويم الجي بي أس منهم موقع هيئة المساحة الأمريكية في الرابط:
http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Gpscal.shtml

أو التقويم التفاعلي في الرابط (أسهل في الاستخدام):
http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html

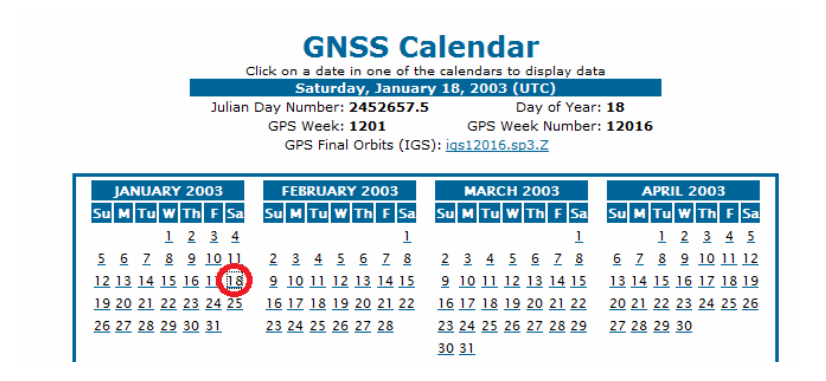
والرابط الأخير يقدم تقويما كاملا للأعوام من ١٩٩٤م إلي ٢٠٢١م:



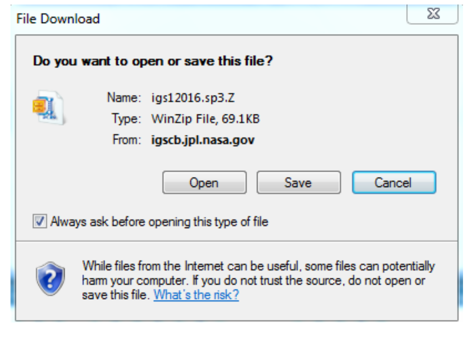
سنأخذ مثالا لتحديد أسبوع و يوم الجي بي أس لتاريخ الرصد ١٨ يناير ٢٠٠٣م (وهو يوم الرصد الفعلي للشبكة الموجودة في المثال المشروح في هذا الفصل).

في أسفل الصفحة نضغط عام ٢٠٠٣ ليظهر تقويم هذا العام كاملا، وبه نضغط علي يوم ١٨ في شهر يناير. في أعلي الصفحة سنجد بيانات هذا اليوم كالآتي:

- رقم الأسبوع في الجي بي أس = ١٢٠١
- رقم اليوم في الجي بي أس = ٦
- تقويم الجي بي أس = ١٢٠١٦
- أسم ملف المدار الدقيق لهذا اليوم = igs12016.sp3.z



نلاحظ هنا أن اسم ملف المدارات الدقيقة لهذا اليوم عبارة عن رابط مباشر، أي يمكن الضغط عليه بالماوس ليتم مباشرة تحميل الملف المطلوب:

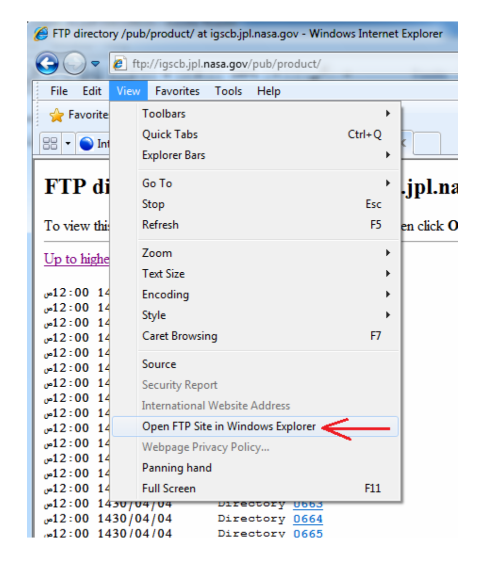


طريقة أخرى لتحميل الملف المطلوب:

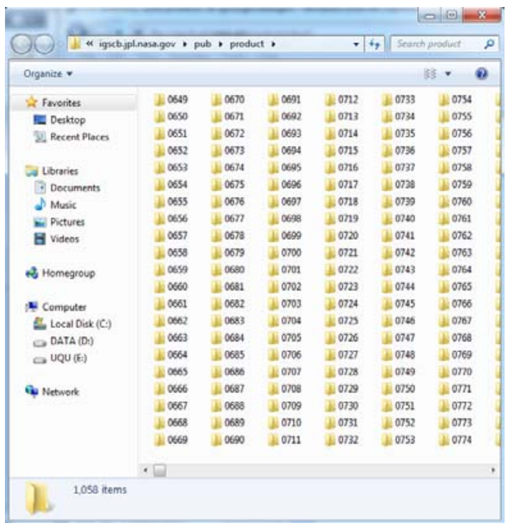
ندخل موقع تحميل الملفات الرئيسي لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في الرابط:

ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/product/

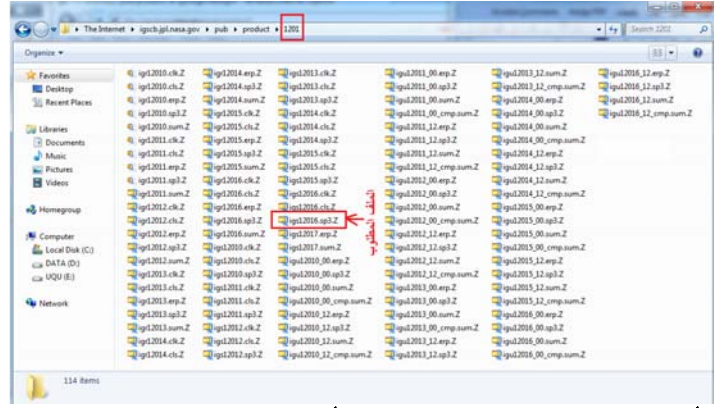
من شريط أدوات برنامج explorer نضغط أمر View ثم نختار أمر فتح الموقع في نافذة ويندوز Open FTP site in windows explorer:



فيتم فتح نافذة ويندوز عادية لجميع محتويات (ملفات) موقع ناسا حيث يمكننا نسخ أي ملف إلي الكمبيوتر بسهولة:



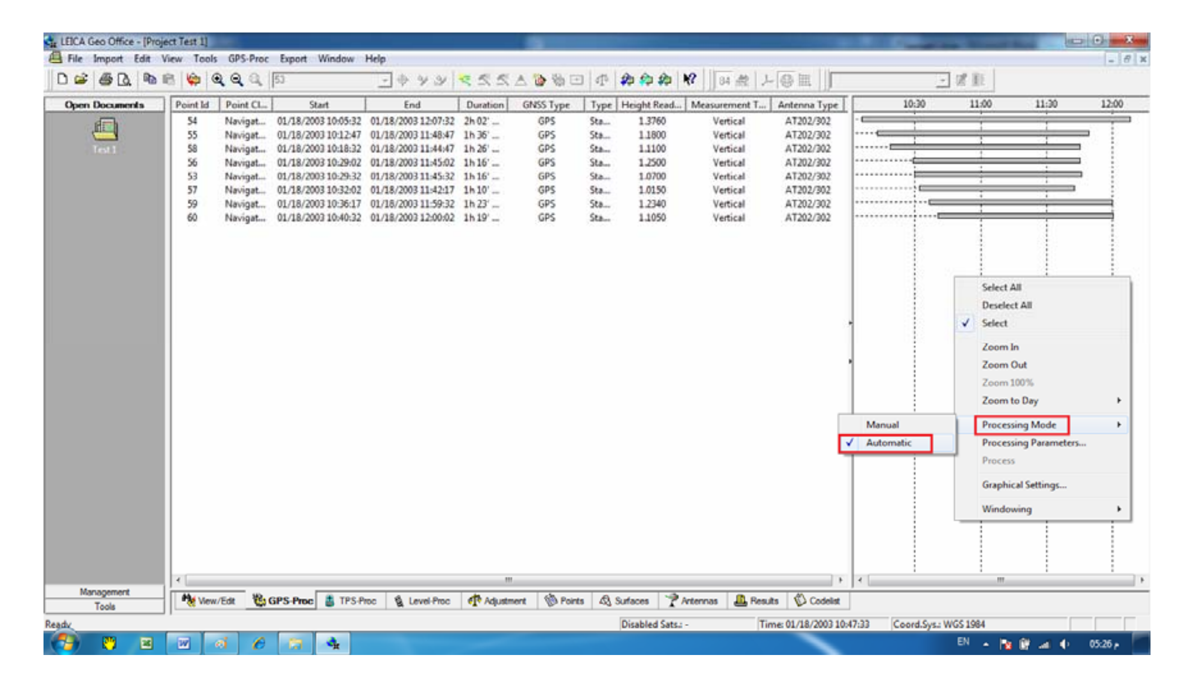
ندخل مجلد ١٢٠١ (مجلد الأسبوع المطلوب للمثال الحالي) ومن داخله نبحث عن الملف igs12016.sp3.z:



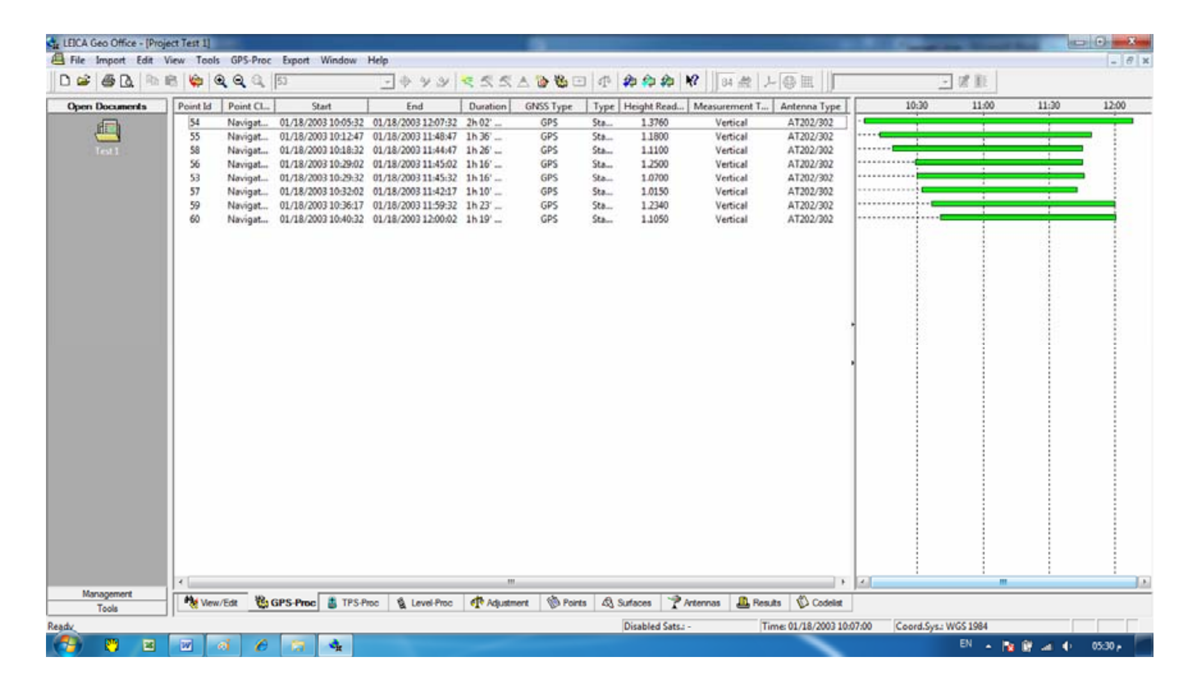
نضغط بالماوس الأيمن علي هذا الملف و نختار أمر نسخ copy ثم في مجلد البيانات (علي الكمبيوتر) نضغط أمر لصق paste ليتم نسخ الملف.

٩-٢-٣-٢ الحساب باستخدام ملفات المدارات الدقيقة

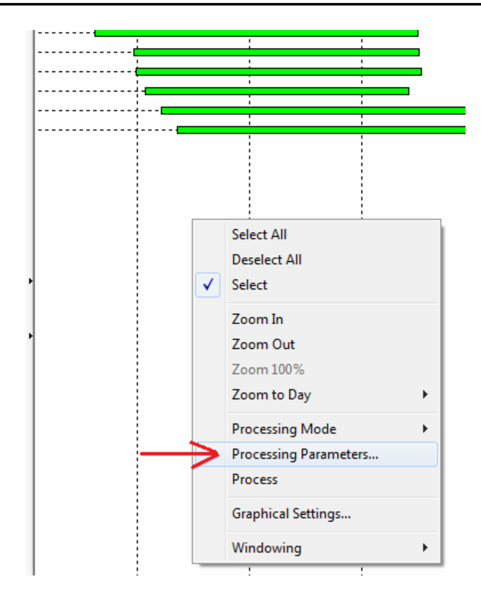
نعود لطريقة الحسابات الآلية نضغط بالماوس الأيمن في يمين الشاشة ومن النافذة نختار أمر طريقة الحسابات Processing Mode ومنها نختار الطريقة الآلية Automatic:



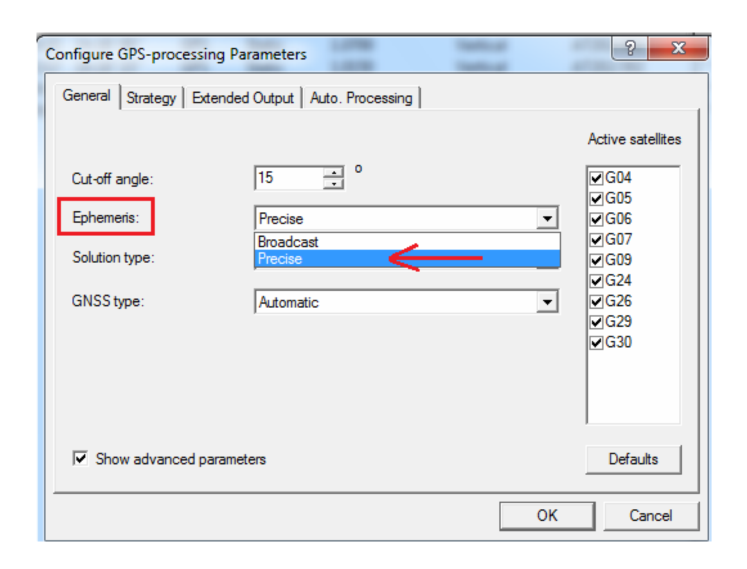
نضغط بالماوس علي كل خط أرصاد (كل نقطة مرصودة) في يمين الشاشة ليتم اختيارها و تتحول إلي اللون الأخضر:



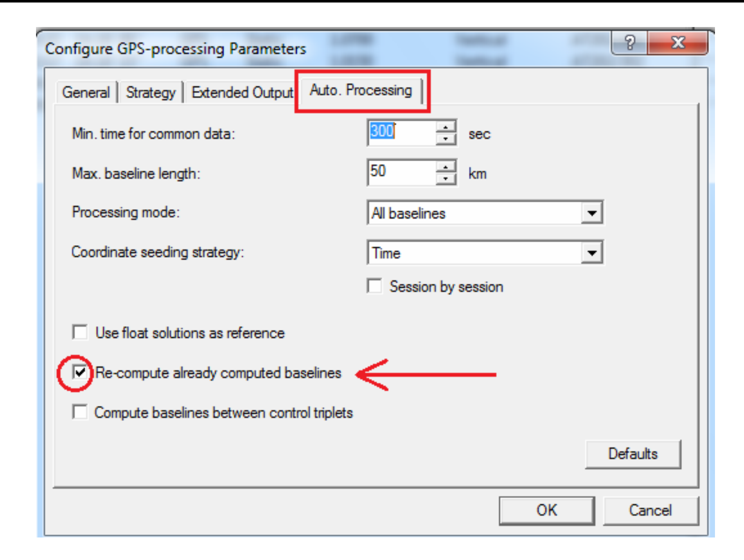
نضغط بالماوس الأيمن ونختار من القائمة أمر عناصر الحساب Processing Parameters :



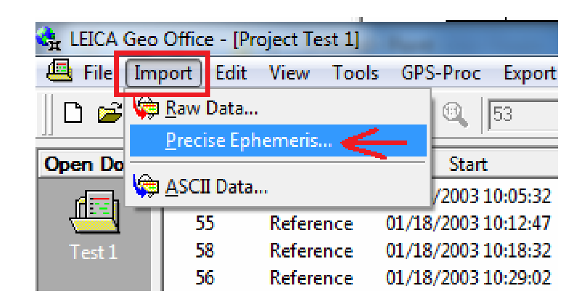
في سطر المدارات Ephemeris نختار المدارات الدقيقة Precise:



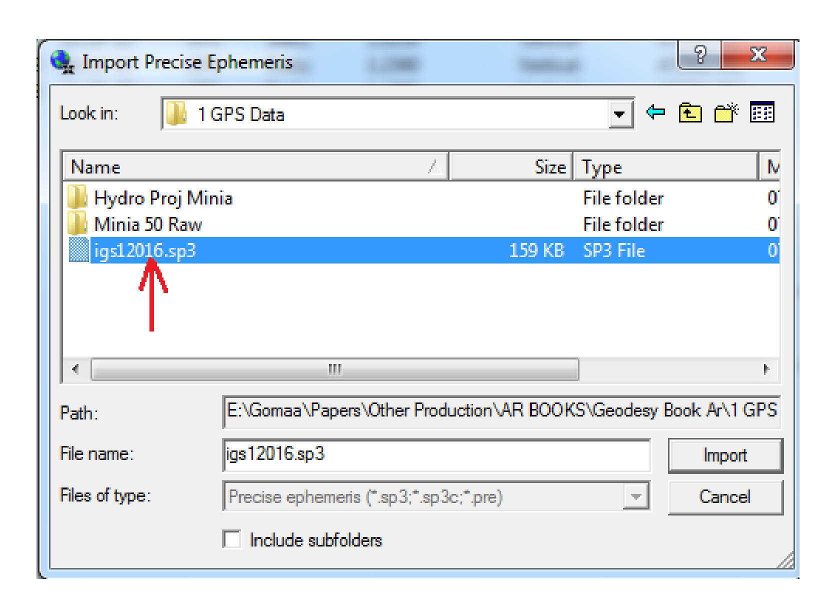
وفي أيقونة Auto Processing (أعلى النافذة) نضغط علامة صح في المربع أمام أمر: إعادة حسابات الخطوط المحسوبة Re-Compute already computed baselines حتى يقوم البرنامج بإعادة الحسابات مرة أخري بعد التغييرات التي أجريناها:



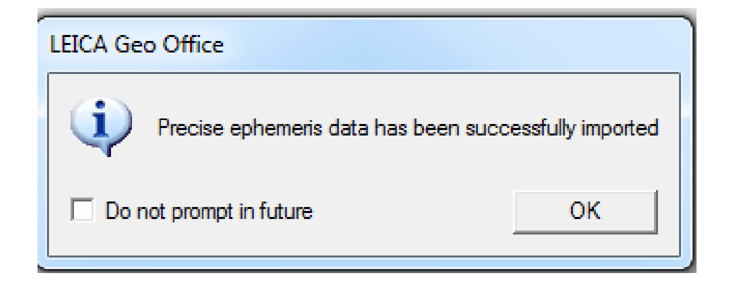
لتحميل ملف المدارات الدقيقة إلي المشروع الحالي نضغط أيقونة استيراد Import ثم نختار Precise Ephemeris :



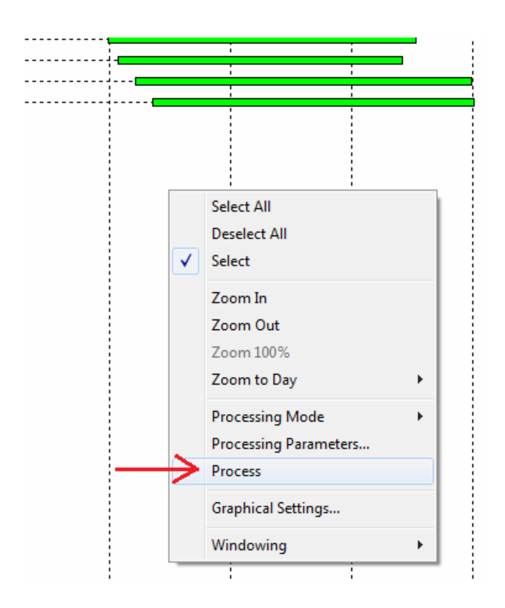
نختار الملف المطلوب (بعد إزالة الضغط عنه) ثم نضغط Import:



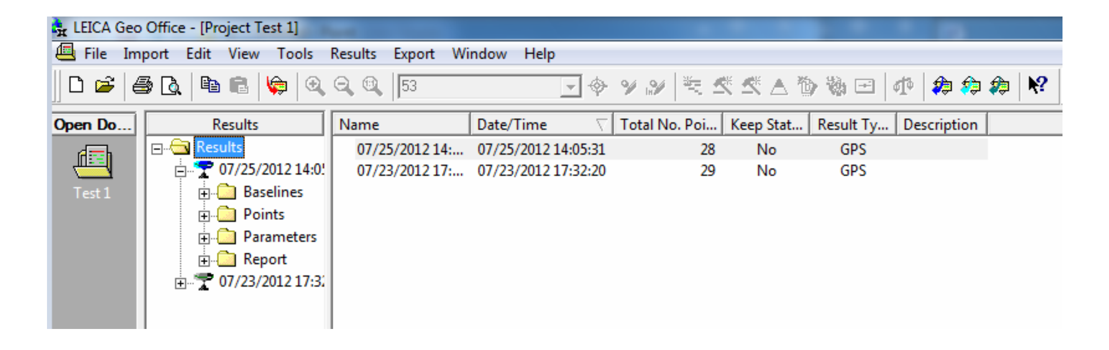
تظهر رسالة أن التحميل تم بنجاح، نضغط OK:



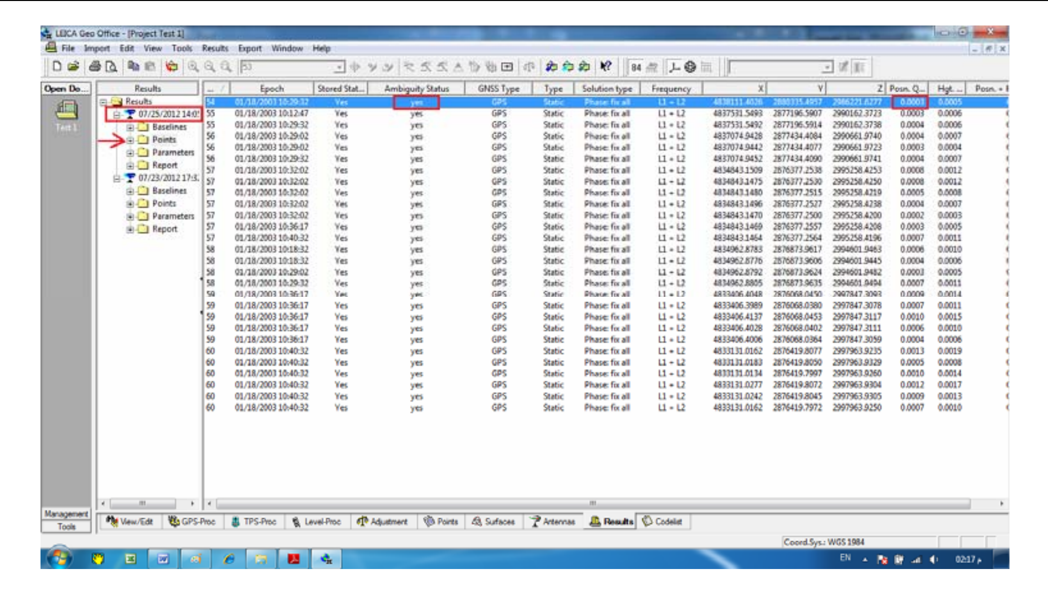
ثم نضغط بالماوس الأيمن و من النافذة نختار أمر بدء الحسابات Process:



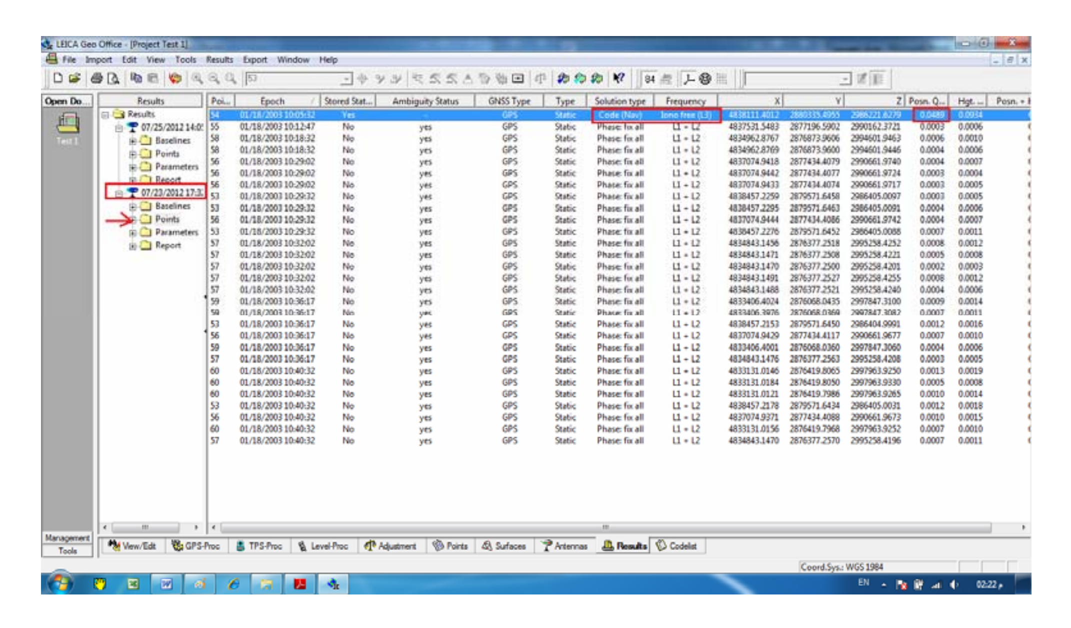
في صفحة النتائج Results (من شريط الأدوات السفلي) سنجد النتائج الجديدة في السطر الأعلى و أيضا النتائج القديمة (باستخدام المدارات غير الدقيقة) في السطر الأسفل:



علي سبيل المثال – لنري تأثير المدارات الدقيقة – اذا فتحنا النتائج الجديدة وفي صفحة النقاط Points نجد النقطة رقم ٥٤ قد أمكن حل قيمة خطأ الغموض N لها بحيث أصبح نوع الحل لهذه النقطة حل ثابت Static Phase Fix All وأصبح انحرافها المعياري = ٠.٠٠٠٣ متر:



أما في النتائج القديمة (بالمدارات غير الدقيقة) فلم يتمكن برنامج LGO من حل قيمة الغموض N عند هذه النقطة و كان نوع الحل عندئذ Code Iono-Free وكان انحرافها المعياري = ٠.٠٤٨٩ متر:

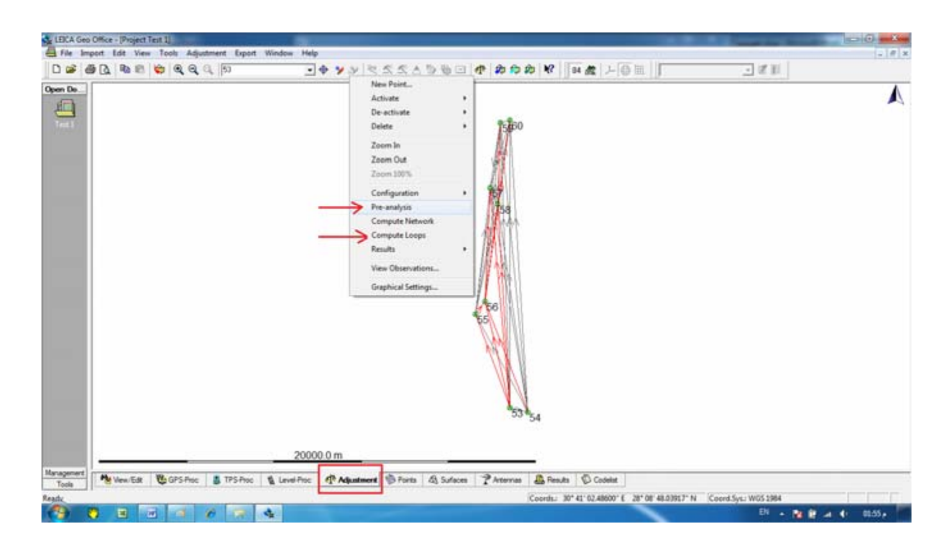


للمدارات الدقيقة عدة مميزات: (١) زيادة دقة مدارات الأقمار الصناعية والتي تعتمد عليها حسابات مواقع النقاط المرصودة، (٢) زيادة دقة خطوط القواعد Baselines المحسوبة ومن ثم الوصول لنتائج أدق في إحداثيات النقاط، (٣) أنها ملفات مجانية يمكن تحميلها بسهولة وبدون أي مقابل. لذلك يجب علي مستخدمي الجي بي أس التعامل مع هذه المدارات الدقيقة في كافة المشروعات خاصة التطبيقات الهندسية والمساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية.

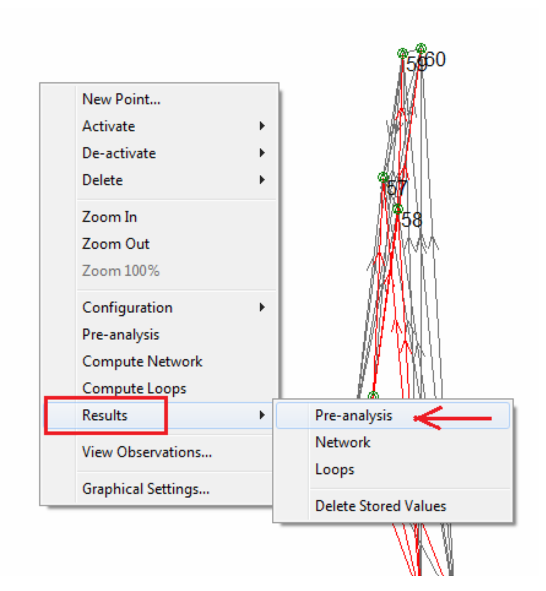
٩-٣ ضبط الشبكات

٩-٣-١ الضبط الحر للشبكات

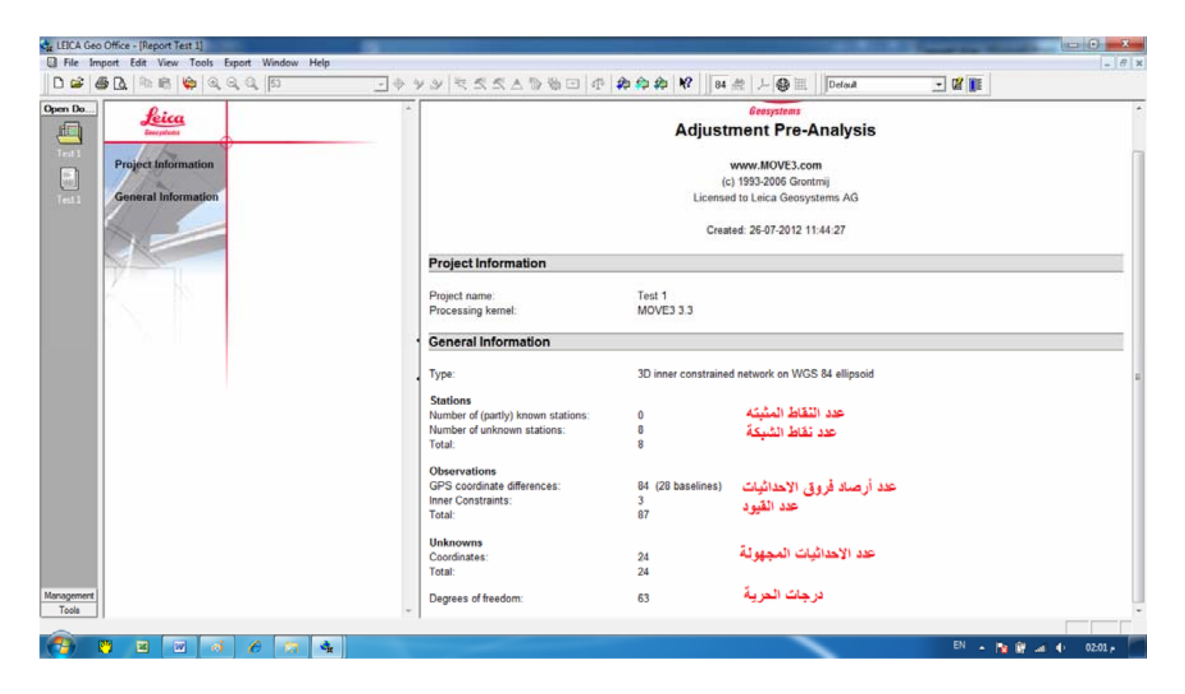
تسمح عملية الضبط الحر للشبكة Free-Network Adjustment بتقييم دقة أرصاد الشبكة ذاتها قبل تثبيت إحداثيات نقاط تحكم معلومة. هنا سيقوم برنامج LGO بتثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط من نقاط الشبكة (بإحداثياتها الناتجة من الأرصاد ذاتها) ليعالج العيوب المرجعية Datum defects للشبكة ويصل لحل لها. يقدم برنامج LGO خطوتي تحليل مبدئي قبل إجراء عملية الضبط وهما: التحليل المبدئي Pre-Analysis وتحليل الحلقات Compute Loops (من قائمة الضبط Adjustment في شريط الأدوات السفلي):



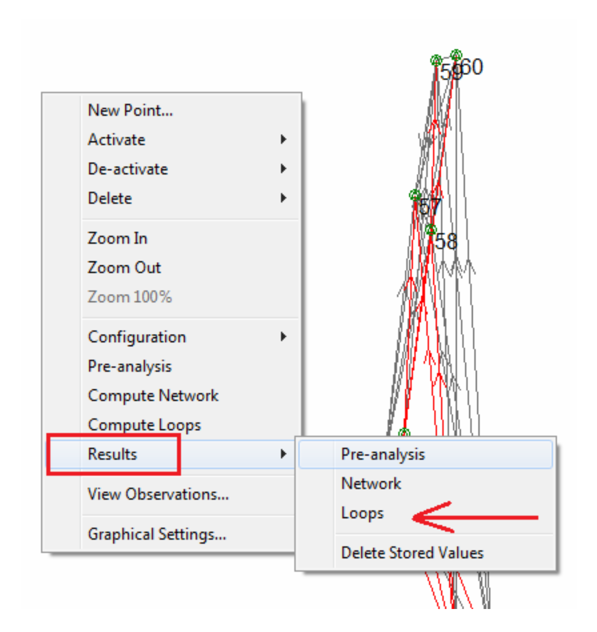
بتنفيذ خطوة التحليل المبدئي Pre-Analysis علي المثال الحالي، ثم نضغط الماوس الأيمن ونختار النتائج Results ومنها نختار نتائج التحليل المبدئي:



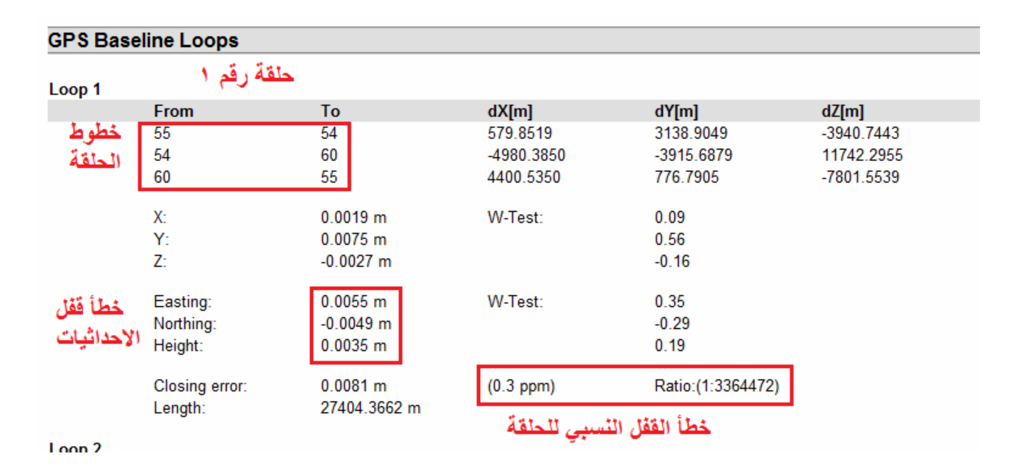
تعرض نتائج هذه الخطوة الخصائص العامة للشبكة من حيث عدد أرصادها و عدد القيم المجهولة و عدد درجات الحرية:



في الخطوة الثانية نضغط أمر تحليل الحلقات Compute Loops ، ثم نضغط الماوس الأيمن ونختار النتائج Results ومنها نختار نتائج تحليل الحلقات:



تعرض نتائج هذه الخطوة الخصائص العامة لحلقات (مثلثات) الشبكة، ولكل حلقة (مثلث) يعطي البرنامج قيمة خطأ القفل بالمتر وقيمة محيط الحلقة بالكيلومتر و قيمة خطأ القفل النسبي بوحدات أجزاء المليون ppm وأيضا كنسبة:



GPS Baseline Loops

Loop 1 — حلقة رقم ١

خطوط الحلقة

From	To	dX[m]	dY[m]	dZ[m]
55	54	579.8519	3138.9049	-3940.7443
54	60	-4980.3850	-3915.6879	11742.2955
60	55	4400.5350	776.7905	-7801.5539

X:	0.0019 m	W-Test:	0.09
Y:	0.0075 m		0.56
Z:	-0.0027 m		-0.16
Easting:	0.0055 m	W-Test:	0.35
Northing:	-0.0049 m		-0.29
Height:	0.0035 m		0.19
Closing error:	0.0081 m	(0.3 ppm)	Ratio:(1:3364472)
Length:	27404.3662 m		

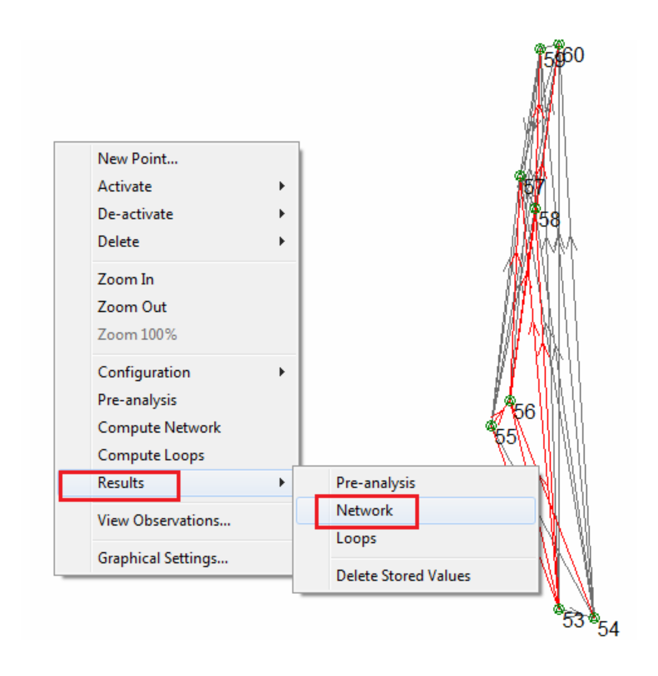
خطأ قفل الاحداثيات

خطأ القفل النسبي للحلقة

Loop 2

يجب فحص نتائج الحلقات بتمعن لاكتشاف وجود أية أخطاء كبيرة نسبية في بعض الحلقات.

في الخطوة الثالثة نضغط أمر ضبط الشبكة Compute Network ، ثم نضغط الماوس الأيمن ونختار النتائج Results ومنها نختار نتائج الشبكة Network:



يعطي الجزء الأول من تقرير ضبط الشبكة الخصائص العامة و معاملات عملية الضبط التي تم تنفيذها:

General Information:

Adjustment			
Type:	Inner constrained		نوع الضبط
Dimension:	3D		الأبعاد
Coordinate system:	WGS 1984		المجسم المستخدم
Height mode:	Ellipsoidal		نوع الارتفاعات
Number of iterations:	1		عدد مرات التكرار
Maximum coord correction in last iteration:	0.0000 m	✓	(tolerance is met)

Stations			
Number of (partly) known stations:	0 عدد النقاط المثبتة		
Number of unknown stations:	8 عدد النقاط المجهولة		
Total:	8		
Observations			
GPS coordinate differences:	84 (28 baselines) عدد الأرصاد		
Inner constraints:	3 عدد القيود		
Total:	87		
Unknowns			
Coordinates:	24 عدد القيم المجهولة		
Total:	24		
Degrees of freedom:	63 درجات الحرية		
Testing معاملات الاختبارات الإحصائية المنفذة			
Alfa (multi dimensional):	0.5795		
Alfa 0 (one dimensional):	5.0 %		
Beta:	80.0 %		
Sigma a-priori (GPS):	10.0		
Critical value W-test:	1.96		
Critical value T-test (2-dimensional):	2.42		
Critical value T-test (3-dimensional):	1.89		
Critical value F-test:	0.95 القيمة الحرجة لاختبار F		
F-test:	0.09 قيمة اختبار الشبكة	✔	(accepted) هل الاختبار تم نجاحه ؟

نلاحظ أن نوع الضبط هو Inner Constrained أو القيود الداخلية وهو أسم مرادف آخر لعملية الضبط بالطريقة الحرة Free-Network، أي أن القيود الثلاثة التي تم تنفيذها علي الشبكة (٣ إحداثيات لنقطة من نقاط الشبكة) هي بقيم ناتجة من داخل الشبكة ذاتها. أيضا نلاحظ في السطر الأخير أن نتيجة الاختبار الإحصائي F (الذي يطبقه برنامج LGO بديلا عن اختيار مربع كاي للحكم علي معيار التباين) قد أثبت نجاحه.

أما الجزء الثاني من تقرير ضبط الشبكة فيعطي قيم الإحداثيات الناتجة من الضبط (ليست نهائية بالطبع) وكذلك قيم التصحيح و قيم الانحراف المعياري لكل نقطة من نقاط الشبكة:

Adjustment Results

Coordinates					
Station النقطة		Coordinate الإحداثيات	Corr التصحيح	Sd الانحراف المعياري	
53	Latitude	28° 06' 03.45852" N	0.0003 m	0.0005 m	
	Longitude	30° 45' 31.23396" E	-0.0001 m	0.0004 m	
	Height	54.1630 m	0.0004 m	0.0009 m	
54	Latitude	28° 05' 56.77251" N	0.0010 m	0.0004 m	
	Longitude	30° 46' 01.75867" E	0.0000 m	0.0003 m	
	Height	50.2983 m	0.0001 m	0.0009 m	
55	Latitude	28° 08' 21.87988" N	-0.0003 m	0.0003 m	
	Longitude	30° 44' 33.78907" E	-0.0003 m	0.0003 m	
	Height	52.4406 m	0.0019 m	0.0007 m	
56	Latitude	28° 08' 40.34034" N	-0.0003 m	0.0003 m	
	Longitude	30° 44' 49.83392" E	-0.0002 m	0.0003 m	
	Height	49.2469 m	0.0006 m	0.0007 m	
57	Latitude	28° 11' 29.66937" N	-0.0009 m	0.0003 m	
	Longitude	30° 44' 58.35668" E	0.0000 m	0.0003 m	
	Height	51.6760 m	-0.0001 m	0.0007 m	
58	Latitude	28° 11' 05.39750" N	-0.0007 m	0.0003 m	
	Longitude	30° 45' 11.76255" E	0.0001 m	0.0003 m	
	Height	56.1225 m	0.0003 m	0.0007 m	
59	Latitude	28° 13' 05.16526" N	-0.0006 m	0.0004 m	
	Longitude	30° 45' 15.55091" E	0.0007 m	0.0003 m	
	Height	47.7975 m	0.0016 m	0.0008 m	
60	Latitude	28° 13' 09.37517" N	0.0016 m	0.0006 m	
	Longitude	30° 45' 31.80151" E	-0.0001 m	0.0005 m	
	Height	52.9237 m	-0.0048 m	0.0012 m	

نلاحظ أن قيم الانحراف المعياري لإحداثيات النقاط تتراوح بين ٠.٣ و ١.٢ ملليمتر مما يدل علي جودة أرصاد الشبكة و دقة نتائجها.

أما الجزء الثالث من تقرير ضبط الشبكة فيعطي قيم التصحيحات Residuals لكل رصدة من أرصاد الشبكة وكذلك قيم الانحراف المعياري للأرصاد المصححة:

Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	54	60	-4980.3818 m	-0.0032 m	0.0060 m	0.0014 m
DY			-3915.6930 m	0.0051 m	-0.0057 m	0.0009 m
DZ			11742.3021 m	-0.0065 m	-0.0032 m	0.0010 m
DX	54	59	-4704.9977 m	0.0013 m	0.0029 m	0.0012 m
DY			-4267.4547 m	0.0042 m	-0.0017 m	0.0008 m
DZ			11625.6816 m	-0.0001 m	0.0028 m	0.0008 m
DX	54	58	-3148.5221 m	-0.0008 m	-0.0011 m	0.0010 m
DY			-3461.5320 m	-0.0018 m	-0.0008 m	0.0007 m
DZ			8380.3201 m	-0.0017 m	-0.0022 m	0.0007 m
DX	54	57	-3268.2518 m	-0.0019 m	0.0005 m	0.0010 m
DY			-3958.2420 m	-0.0006 m	0.0024 m	0.0007 m
DZ			9036.7954 m	0.0018 m	-0.0009 m	0.0007 m
DX	54	56	-1036.4574 m	-0.0010 m	0.0002 m	0.0010 m
DY			-2901.0868 m	-0.0004 m	0.0013 m	0.0007 m
DZ			4440.3452 m	0.0009 m	-0.0005 m	0.0006 m

أما الجزء الرابع من تقرير ضبط الشبكة فيعطي قيم أطوال خطوط القواعد و تصحيحاتها وكذلك قيم الانحراف المعياري لها:

GPS Baseline Vector Residuals

	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	54	60	13342.3578	0.0089	0.7
DV	54	59	13247.8166	0.0044	0.3
DV	54	58	9598.1852	0.0026	0.3
DV	54	57	10392.9217	0.0026	0.3
DV	54	56	5404.3699	0.0014	0.3
DV	54	55	5071.3333	0.0016	0.3
DV	56	60	8360.7739	0.0057	0.7
DV	56	59	8182.5551	0.0020	0.2
DV	56	58	4505.3655	0.0006	0.1
DV	56	57	5217.8385	0.0010	0.2
DV	55	60	8990.6811	0.0061	0.7

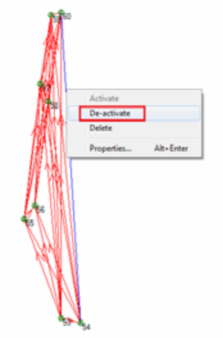
أما الجزء الخامس من تقرير ضبط الشبكة فيعطي نتائج الاختبارات الإحصائية علي الأرصاد الأصلية:

Testing and Estimated Errors

Observation Tests

	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX	54	60	0.0114 m	92	0.8	-1.57	4.68 ⚠
DY			0.0068 m	89	0.9	3.37 ⚠	
DZ			0.0099 m	94	0.7	-2.54 ⚠	
DX	54	59	0.0082 m	90	0.9	-0.98	1.80
DY			0.0051 m	88	1.0	2.28 ⚠	
DZ			0.0067 m	91	0.9	-0.97	
DX	54	58	0.0056 m	83	1.2	0.62	0.66
DY			0.0037 m	85	1.2	-0.79	
DZ			0.0042 m	82	1.3	-0.73	
DX	54	57	0.0069 m	89	1.0	-0.65	0.63
DY			0.0045 m	89	1.0	-0.28	
DZ			0.0053 m	89	1.0	1.21	

يطبق برنامج LGO الاختبار الإحصائي W (بدلا من اختبار تاو) بهدف اكتشاف الأرصاد الشاذة أو الأرصاد الواقعة خارج الحدود outliers. كل رصدة تفشل في تخطي هذا الاختبار (أي أنها قد تكون رصدة شاذة outlier) يضع البرنامج أمامها مثلث تحذيري باللون الأصفر. وكما سبق الذكر (أنظر ٨-٧-٢) أن هذه الأرصاد يجب حذفها وإعادة عملية الضبط مرة أخري حتى لا تؤثر هذه الأرصاد علي باقي أرصاد الشبكة. فإذا ظهرت أكثر من رصدة محتملة كرصدة شاذة فنقوم بحذف الرصدة صاحبة أكبر قيمة من قيم اختبار W فقط ثم نعيد ضبط الشبكة مرة أخري. تتم هذه الخطوة في نافذة الضبط Adjustment فنختار الرصدة المطلوبة ونضغط عليها الماوس الأيمن ومن النافذة نختار أمر تعطيل De-Actuate (أي لن يتم استخدامها في الضبط)، ثم ننفذ أمر الضبط Compute Network مرة أخري:



وتستمر هذه العملية التكرارية حتى نصل للحالة التي لا يوجد بها أي أرصاد فشلت في اجتياز الاختبار الإحصائي W، فتكون هذه هي النتائج النهائية لعملية الضبط الحر للشبكة:

Adjustment Results:

Coordinates				
Station النقطة		**Coordinate** الإحداثيات	**Corr** التصحيح	**Sd** الانحراف المعياري
53	Latitude	28° 06' 03.45850" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 45' 31.23397" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	54.1635 m	-0.0001 m	0.0001 m
54	Latitude	28° 05' 56.77247" N	0.0001 m	0.0001 m
	Longitude	30° 46' 01.75868" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	50.2981 m	-0.0004 m	0.0001 m
55	Latitude	28° 08' 21.87988" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 44' 33.78909" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	52.4396 m	0.0001 m	0.0001 m
56	Latitude	28° 08' 40.34034" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 44' 49.83393" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	49.2471 m	0.0001 m	0.0001 m
57	Latitude	28° 11' 29.66939" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 44' 58.35668" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	51.6769 m	0.0001 m	0.0001 m
58	Latitude	28° 11' 05.39752" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 45' 11.76255" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	56.1231 m	0.0001 m	0.0001 m
59	Latitude	28° 13' 05.16527" N	0.0000 m	0.0001 m
	Longitude	30° 45' 15.55089" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	47.7968 m	0.0001 m	0.0001 m
60	Latitude	28° 13' 09.37520" N	0.0000 m	0.0001 m
	Longitude	30° 45' 31.80148" E	0.0000 m	0.0001 m
	Height	52.9233 m	0.0001 m	0.0001 m

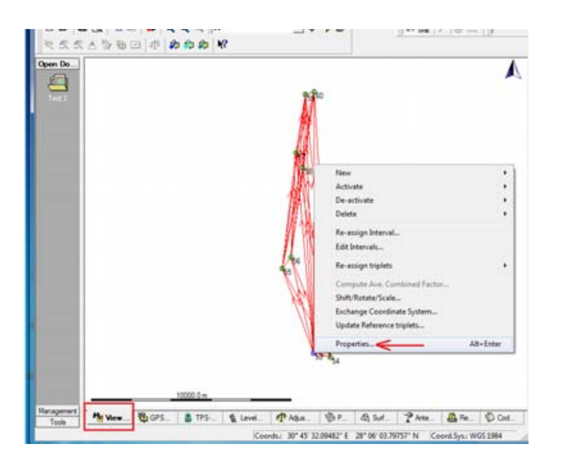
نلاحظ أن الانحراف المعياري للإحداثيات قد أنخفض (أي زادت الدقة) إلي تقريبا ٠.١ ملليمتر لجميع نقاط الشبكة.

٩-٣-٢ الضبط النهائي للشبكات

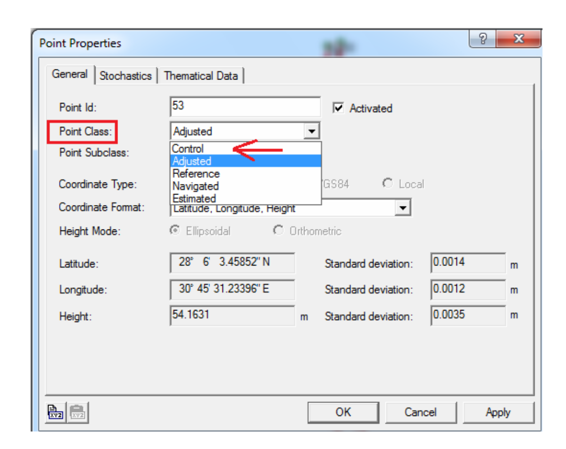
بعد ضمان الوصول لأدق الأرصاد و النتائج في الضبط الحر (أو الضبط بالقيود الداخلية للشبكة الجيوديسية يتم الآن ضبطها النهائي. في الضبط النهائي يكون لدينا معلومات مسبقة عن الإحداثيات الحقيقية المضبوطة لأحدي نقاط الشبكة بأن تكون واحدة من النقاط هي نقطة ثوابت أرضية للشبكة القومية للدولة أو أن نقوم بربط الشبكة الجديدة علي الشبكة القومية أو المرجع الوطني للدولة. في المثال الحالي قمنا (في خطوة أخري لا مجال لعرضها هنا) بربط نقطة ٥٣ من نقاط الشبكة الحالية علي الشبكة القومية المصرية للجي بي أس وأمكن حساب قيمة الإحداثيات النهائية لهذه النقطة.

الآن سنغير حالة النقطة ٥٣ في الشبكة من "نقطة مضبوطة Adjusted Point" إلي "نقطة تحكم Control Point" وسندخل إحداثياتها الحقيقية بدلا من تلك الإحداثيات الناتجة من الضبط الحر للشبكة:

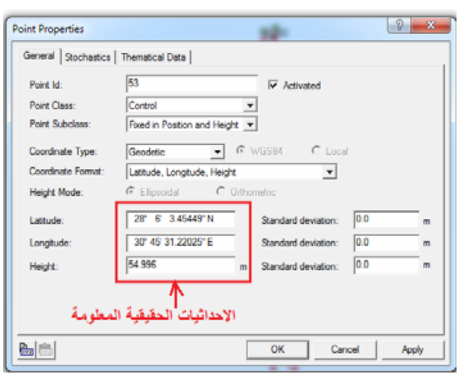
من نافذة العرض View/Edit (في شريط الأدوات السفلي) نضغط بالماوس الأيمن علي النقطة ٥٣ ومن القائمة نختار أمر خصائص Properties:



في السهم الصغير الأسود بجوار أمر نوع النقطة Point Class نختار Control (بدلا من Adjusted الحالي):

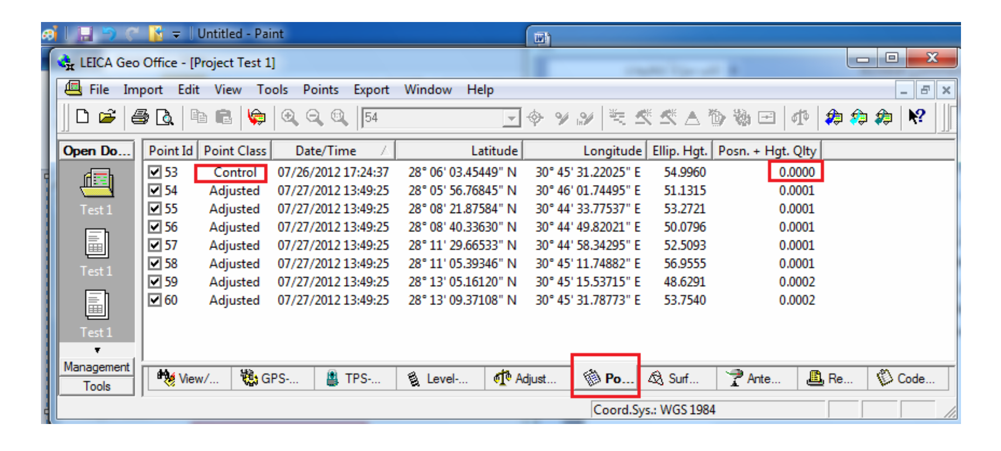


ثم نكتب الإحداثيات الحقيقية المعلومة لهذه النقطة ونجعل قيم الانحراف المعياري لإحداثيات هذه النقطة = صفر (حتى لا تأخذ أية تصحيحات residuals أثناء عملية الضبط النهائي) و نضغط Ok:

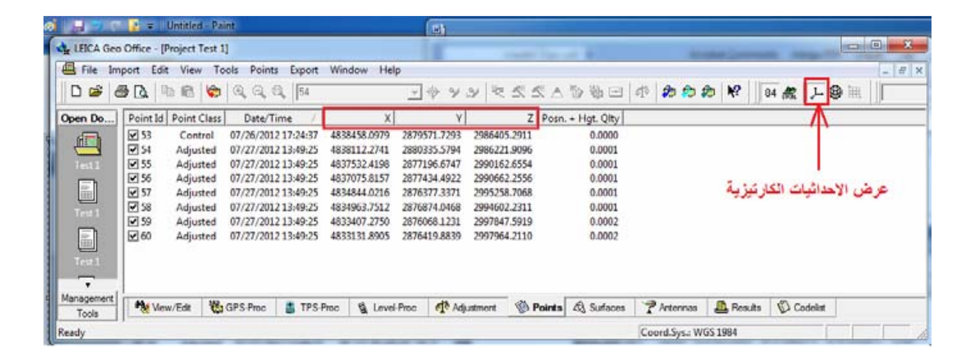


نعيد الضبط مرة أخري بأمر Compute Network.

في نتائج ضبط الشبكة سنجد أن نوع الضبط أصبح الآن: Minimally constrained أي الضبط بأقل عدد من القيود الخارجية (وليس الداخلية) حيث أننا قمنا بتثبيت قيمة الإحداثيات الحقيقية الثلاثة لنقطة واحدة فقط (نفس عدد العيوب المرجعية المطلوب حلها). وهنا سنجد أن قيمة الإحداثيات النهائية لجميع نقاط الشبكة قد تغيرت بنفس قيم تغيير إحداثيات النقطة ٥٣، أي أن الشبكة كلها قد تعرضت لإزاحة shift فقط. والآن ستكون الإحداثيات الجديدة لنقاط الشبكة هي الإحداثيات النهائية المضبوطة لها:

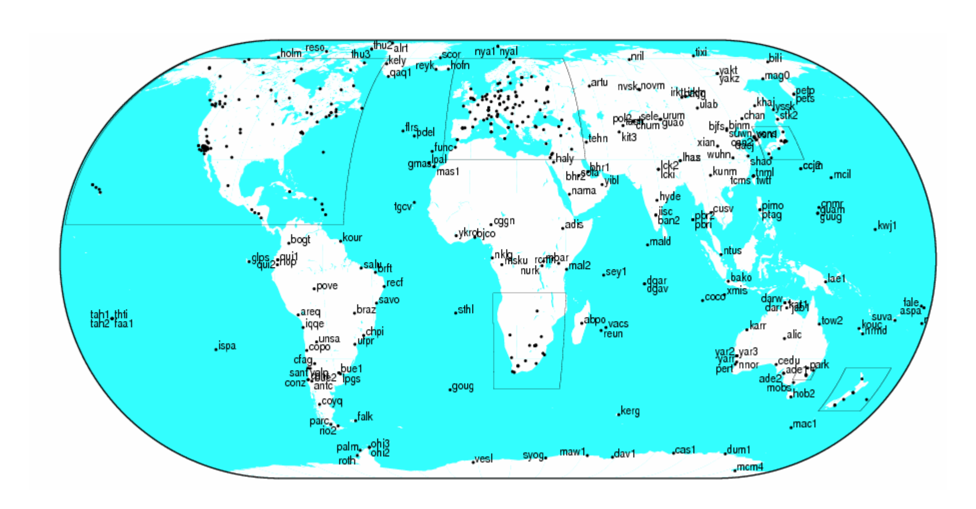


يمكن عرض الإحداثيات الكارتيزية X,Y,Z لنقاط الشبكة (بدلا من الإحداثيات الجغرافية) من خلال الضغط علي أيقونة في شريط الأدوات العلوي:



٩-٣-٣ الربط على الشبكة العالمية

كما سبق الذكر فأن المنظمة العالمية لتقنيات الملاحة IGS تشرف علي إدارة حوالي ٣٥٠ محطة جي بي أس وجلوناس موزعين حول العالم وكل محطة تعمل باستمرار ٢٤ ساعة يوميا وتتيح ملفاتها الأصلية الخام raw data لكل مستخدمي الجي بي أس مجانا:



في الدول العربية توجد نقطة في المغرب rabt وأخري في الأردن ammn ونقطتين في فلسطين المحتلة. كما توجد نقطة في البحرين bhr1 وثلاث نقاط في السعودية nama, haly, yibl.

أحيانا تواجهنا حالة عملية في أحد المشروعات الجيوديسية حيث يكون من الصعب (أو سيأخذ وقتا طويلا و تكلفة مادية) العثور علي نقطة ثوابت أرضية محلية للربط عليها. في مثل هذه الحالات فأن شبكة IGS تقدم بديلا فنيا و اقتصاديا مناسبا. فمن موقع منظمة IGS علي الانترنت يمكننا تحميل download ملف أرصاد نقطة (أو أكثر) من نقاط الشبكة العالمية لنفس يوم الرصد الحقلي في مشروعنا وكما لو أننا قمنا بإرسال جهاز جي بي أس ليحتل هذه النقطة أثناء رصد مشروعنا. وبمعرفة الإحداثيات المضبوطة لهذه النقطة العالمية يمكننا استخدامها كنقطة مرجعية ثابتة للشبكة وبالتالي يمكننا الحصول علي إحداثيات دقيقة لكل نقاط الشبكة المرصودة. والجزء التالي يقدم يستعرض تفاصيل إتمام هذه العملية.

يتكون اسم ملف البيانات لأي محطة IGS من النموذج ssssddd#.yyt.Z حيث:

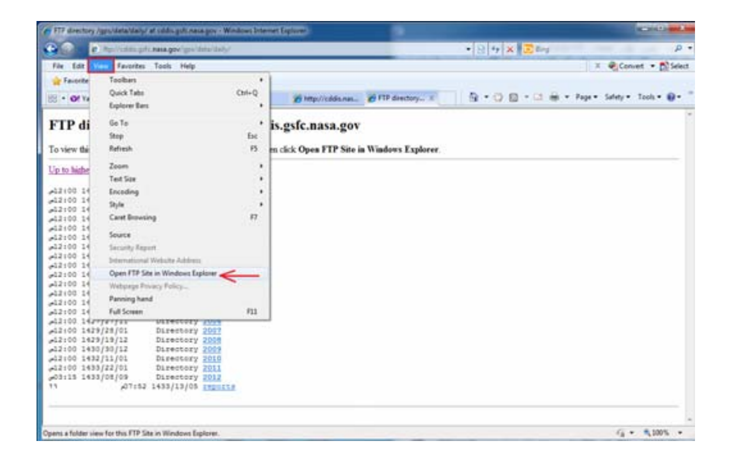
ssss اسم المحطة مكونا من ٤ خانات
ddd رقم يوم الرصد في السنة day-of-year
يساوي صفر في حالة ملف واحد يحتوي كل البيانات لهذا اليوم
yy خانتين للسنة
t نوع الملف:
يساوي o لملفات الأرصاد
يساوي n لملفات الملاحة
يساوي m لملفات الأرصاد المناخية
يساوي s لملخص البيانات و جودتها.

أولا:

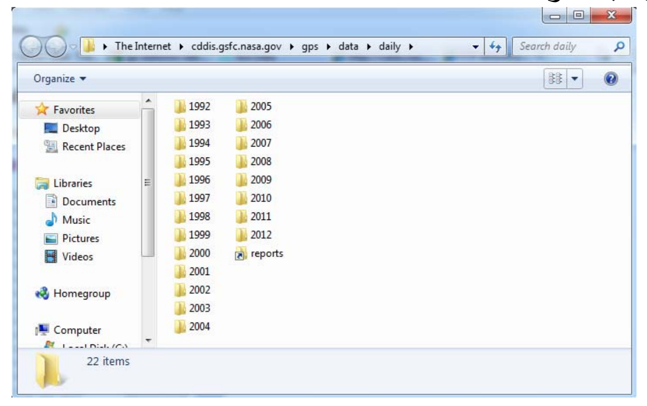
لبدء تحميل ملفات النقاط العالمية: ندخل الرابط التالي لمحتويات كل أرصاد محطات IGS:

ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/daily/

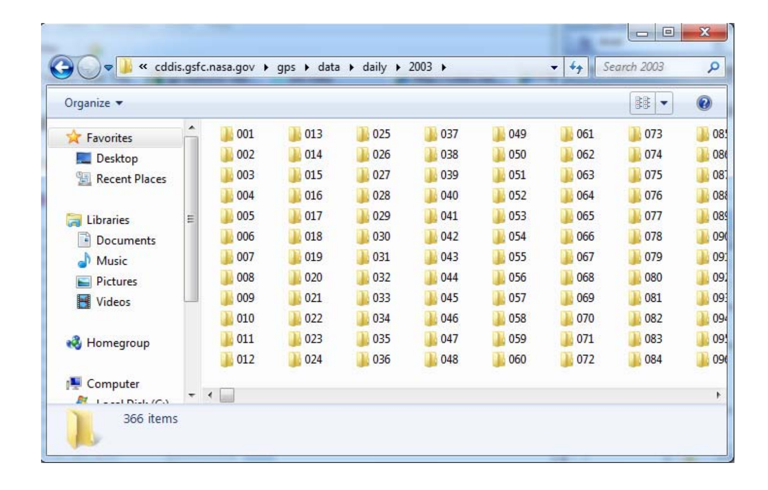
يمكن عرض محتويات هذا الرابط في صورة مجلد بالضغط علي أيقونة View واختيار أمر Open FTP Site in Windows Explorer:



تكون المجلدات مرتبة بالسنوات:



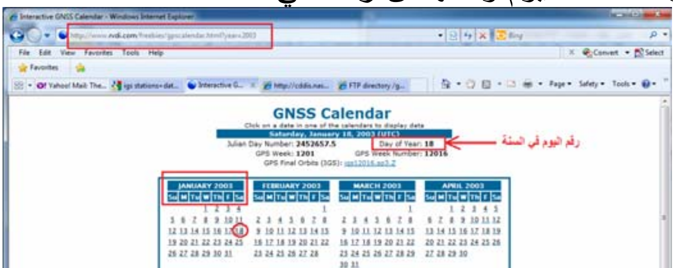
في المثال الحالي سندخل مجلد عام ٢٠٠٣ لأن أرصاد الشبكة الحالية تمت في هذا العام. نجد المجلدات الفرعية مرتبة بترتيب اليوم في السنة أي من يوم رقم ٠٠١ إلي يوم رقم ٣٦٥:



اليوم الذي تمت بـه أرصـاد الـشبكة الحاليـة كـان يـوم ١٨ ينـاير مـن هـذا العـام ٢٠٠٣، لنعـرف ترتيب هذا اليوم في السنة سنعود لاستخدام موقع تقويم الجي بـي أس مرة أخري (كمـا فعلنـا فـي معرفة رقم الأسبوع عند تحميل بيانات المدارات الدقيقة):

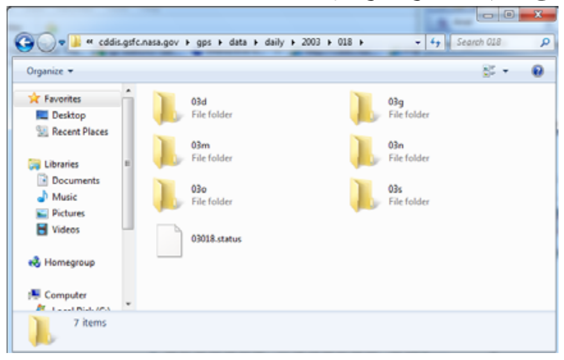
http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html

نضغط علي عام ٢٠٠٣ في أسفل الصفحة ثم نضغط علي يوم ١٨ ينـاير فـي التقـويم، فنجـد فـي أعلي الصفحة معلومات هذا اليوم و منها أن رقمه في السنة = ١٨:

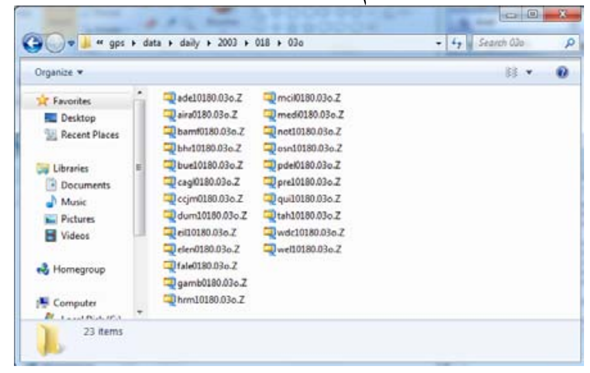


نعود لمجلد بيانات عام ٢٠٠٣ وندخل المجلد الفرعي ٠١٨، فنجد ٦ مجلدات كل منهم يبدأ بـرقم ٠٣ (يدل علي عام ٢٠٠٣) ثم حرف واحد يدل علي نوع الملفات:

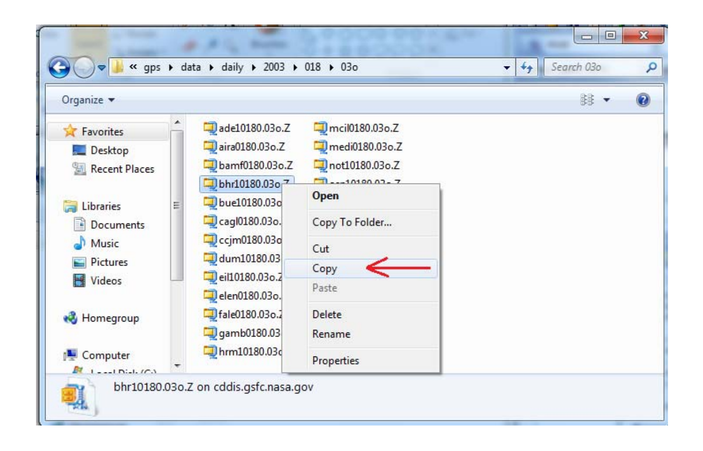
يساوي o لملفات الأرصاد
يساوي n لملفات الملاحة
يساوي m لملفات الأرصاد المناخية
يساوي s لملخص البيانات و جودتها.



ندخل مجلد 03o (لملفات الأرصاد) فنجد ملفات محطـات IGS التي لها أرصـاد في هذا اليوم حيث يبدأ أي ملف بأربعة خانات تحدد اسم المحطة:



سنختار مثلا محطة البحرين bhr1 (الملف bgr10180.03o.Z) ونضغط عليه بالماوس الأيمن ونختار copy:



وفي مجلد بيانات المشروع علي الكمبيوتر نختار أمر past لنحصل علي نسخة من هذا الملف المضغوط (حجمه حوالي ٩٧٣ كيلوبايت). ثم نستخدم برنامج winzip – مثلا - لإزالة الضغط عنه لينتج ملف بنفس الاسم bhr10180.03o لكن حجمه سيكون حوالي ٢.٦٧ ميجابايت.

ثانيا:

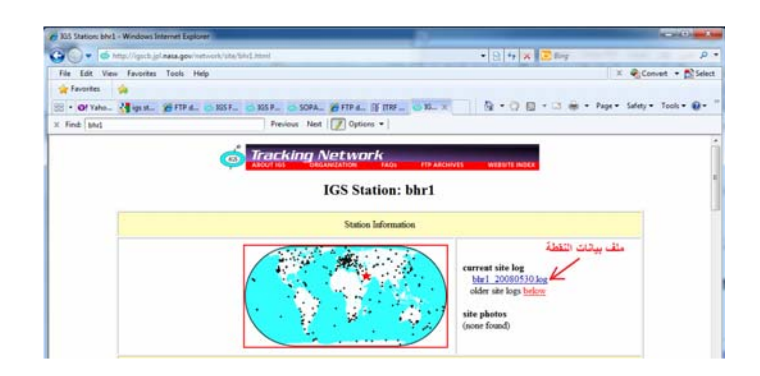
للحصول علي إحداثيات هذه النقطة من نقاط IGS ندخل رابط جميع نقاط الشبكة العالمية في:

http://igscb.jpl.nasa.gov/network/list.html

نضغط أيقونة اسم النقطة المطلوبة bhr1 لندخل صفحة النقطة في:

http://igscb.jpl.nasa.gov/network/site/bhr1.html

فنجد أسم ملف بيانات النقطة فنضغط عليه ونخزن هذا الملف:



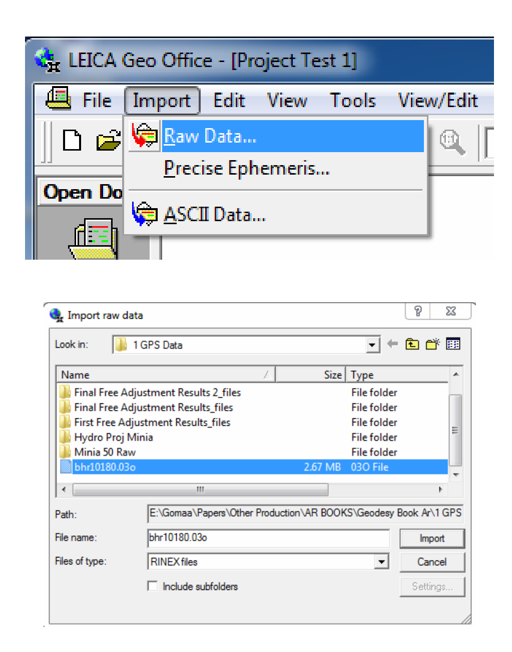
ثم نفتحه (بأي برنامج للملفات النصية text file) فنجد به إحداثيات النقطة:

Site Location Information:
City or Town : Manama
State or Province :
Country : Bahrain

Tectonic Plate : Arabian
Approximate Position (ITRF)
X coordinate (m) : 3633910.757
Y coordinate (m) : 4425277.729
Z coordinate (m) : 2799862.795
Latitude (N is +) : +261232.90
Longitude (E is +) : +0503629.32
Elevation (m, ellips.) : -13.9

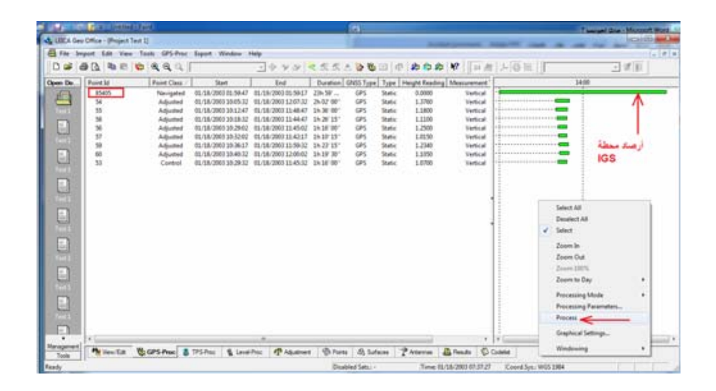
ثالثا:

الآن سنعود لمشروع الجي بي أس في برنامج LGO ونقوم باستيراد ملف أرصاد محطة IGS وإضافته للمشروع:

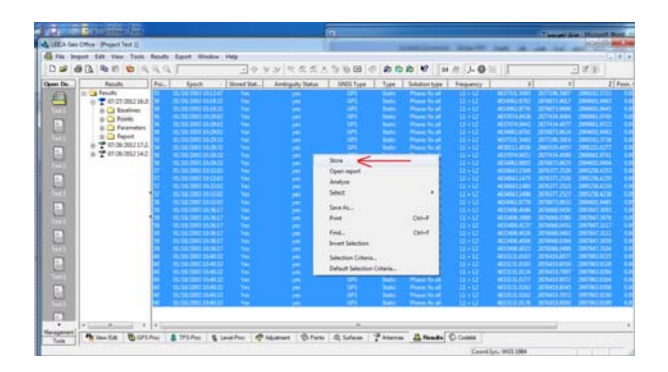


بنفس أسلوب حسابات الشبكة نكرر الخطوات المعتادة:

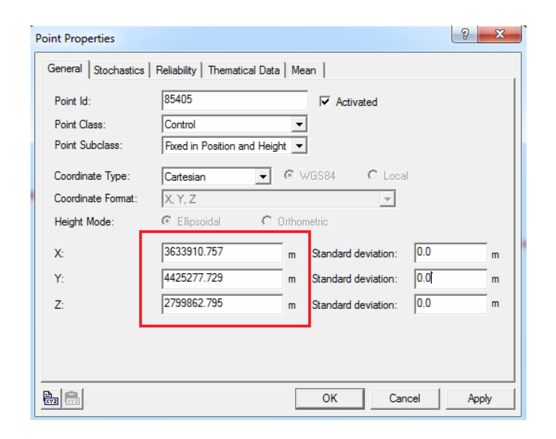
في شاشة GPS-Process نختار ملف النقطة الجديدة ثم نضغط أمر حساب Process لبدء حسابات خطوط القواعد:



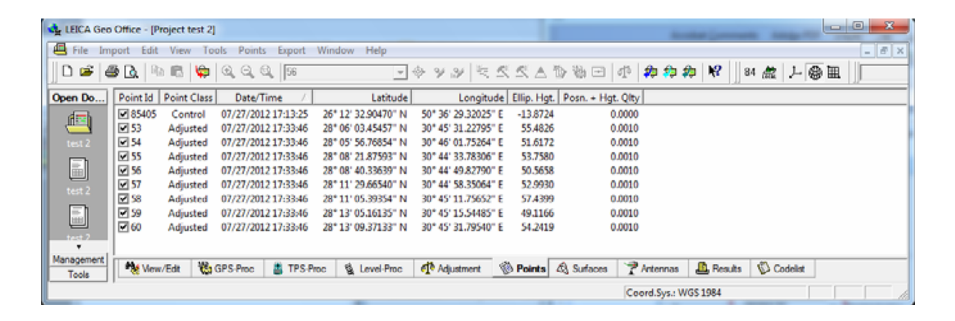
بعد ظهور النتائج نضغط المواس الأيمن ونختار حفظ store:



قبل بدء الضبط نغير حالة النقطة إلي Control وندخل إحداثياتها المعلومة ونجعل قيم الانحراف المعياري لها تساوي صفر:

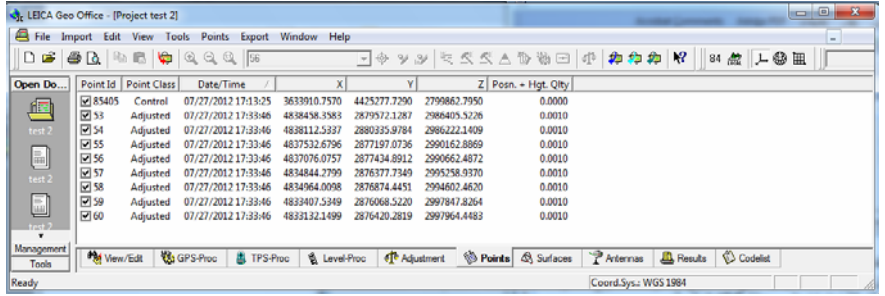


نجري خطوات الضبط المعتادة كما في المرة السابقة (مع اكتشاف الأرصاد الشاذة outliers وحذفها وإعادة الضبط) إلي أن نصل للحالة النهائية التي لا تحتوي أية أرصاد خارج الحدود ومن ثم النتائج النهائية (الإحداثيات الجغرافية) لنقاط الشبكة اعتمادا علي محطة IGS العالمية:



Point Id	Point Class	Date/Time	Latitude	Longitude	Ellip. Hgt.	Posn. + Hgt. Qlty
85405	Control	07/27/2012 17:13:25	26° 12' 32.90470" N	50° 36' 29.32025" E	-13.8724	0.0000
53	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	28° 06' 03.45457" N	30° 45' 31.22795" E	55.4826	0.0010
54	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	28° 05' 56.76854" N	30° 46' 01.75264" E	51.6172	0.0010
55	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	28° 08' 21.87593" N	30° 44' 33.78306" E	53.7580	0.0010
56	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	28° 08' 40.33639" N	30° 44' 49.82790" E	50.5658	0.0010
57	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	28° 11' 29.66540" N	30° 44' 58.35064" E	52.9930	0.0010
58	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	28° 11' 05.39354" N	30° 45' 11.75652" E	57.4399	0.0010
59	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	28° 13' 05.16135" N	30° 45' 15.54485" E	49.1166	0.0010
60	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	28° 13' 09.37133" N	30° 45' 31.79540" E	54.2419	0.0010

أو الإحداثيات الكارتيزية النهائية:



Point Id	Point Class	Date/Time	X	Y	Z	Posn. + Hgt. Qlty
85405	Control	07/27/2012 17:13:25	3633910.7570	4425277.7290	2799862.7950	0.0000
53	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	4838458.3583	2879572.1287	2986405.5226	0.0010
54	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	4838112.5337	2880335.9784	2986222.1409	0.0010
55	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	4837532.6796	2877197.0736	2990162.8869	0.0010
56	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	4837076.0757	2877434.8912	2990662.4872	0.0010
57	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	4834844.2799	2876377.7349	2995258.9370	0.0010
58	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	4834964.0098	2876874.4451	2994602.4620	0.0010
59	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	4833407.5349	2876068.5220	2997847.8264	0.0010
60	Adjusted	07/27/2012 17:33:46	4833132.1499	2876420.2819	2997964.4483	0.0010

٩-٤ تحويل الإحداثيات للمرجع المحلي

تتمثل ثالث خطوات حسابات الشبكات الجيوديسية (الجي بي أس) في تحويل الإحداثيات النهائية الدقيقة من المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 إلي المرجع الجيوديسي الوطني و نظام الإحداثيات المستخدمة في خرائط الدولة. في هذه الخطوة سنقوم بإجراء عمليتين: تحويل المرجع Datum Transformation و إسقاط الخرائط Map Projection. تتطلب العملية الأولي تعريف عناصر التحويل Transformation Parameters بين المرجع العالمي و المرجع الوطني، بينما تتطلب العملية الثانية تحديد عناصر المسقط Projection Parameters لنظام الإحداثيات الوطنية. سنكمل خطوات الشبكة في المثال الحالي لحساب قيم الإحداثيات الوطنية لنقاط الشبكة علي المرجع الجيوديسي المصري.

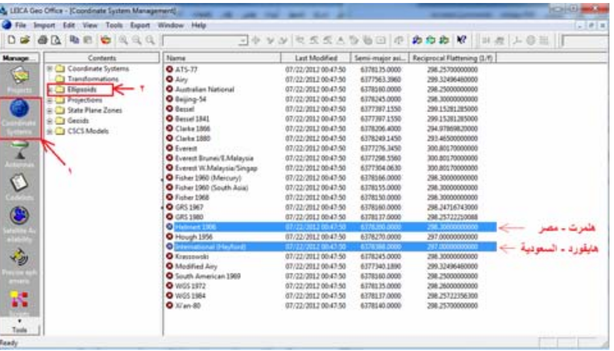
٩-٤-١ تحديد المرجع الوطني

يتكون تعريف مرجع وطني و نظام إسقاط جديد في برنامج LGO من ٤ خطوات كالتالي:

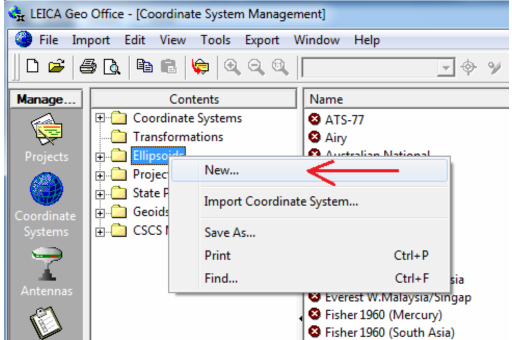
(أ) تحديد الاليبسويد:

تحتوي قاعدة بيانات برنامج LGO علي عدة أنواع من الاليبسويد المستخدمة في العالم ومنها اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ Helmert 1906 المستخدم في الخرائط المصرية (وأيضا اليبسويد هايفورد العالمي International or Hayford 1924 المستخدم في الخرائط السعودية).

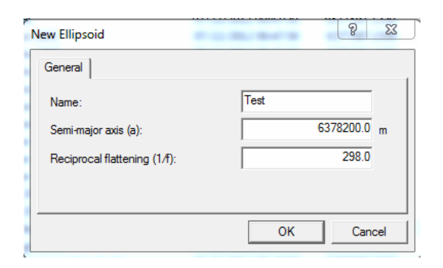
من القائمة الرئيسية اليمني في برنامج LGO نضغط أيقونة نظم الإحداثيات Coordinate Systems فيتم عرض النظم المتوفرة. من القائمة الفرعية نضغط Ellipsoids فنري كل أنواع الاليبسويد:



أما في حالة أننا لم نجد الاليبسويد الوطني موجودا في هذه القائمة فيمكننا إنشاء اليبسويد جديد بالضغط بالماوس الأيمن علي أيقونة Ellipsoids ثم اختيار أمر New:

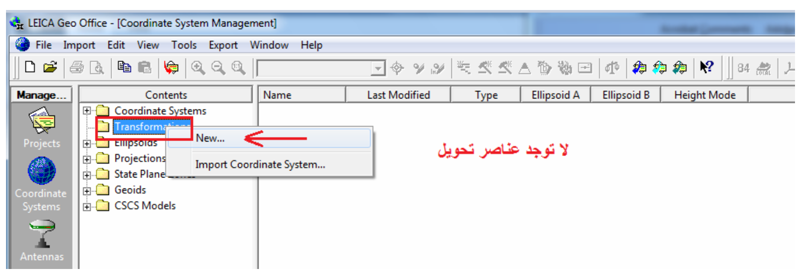


ثم ندخل اسم الاليبسويد و قيمة نصف محوره الأكبر semi-major axis و قيمة مقلوب التفلطح 1/f ثم نضغط Ok:



(ب) تحديد عناصر التحويل:

من القائمة الرئيسية اليمني في برنامج LGO نضغط أيقونة نظم الإحداثيات Coordinate Systems ومن القائمة الفرعية نضغط Transformations فلا نجد أية عناصر تحويل. نضغط بالماوس الأيمن علي Transformations ثم نختار New لإنشاء عناصر تحويل جديدة:



سنستخدم هنا - علي سبيل المثال - قيم عناصر التحويل التي تم حسابها للمنطقة من القاهرة إلي أسيوط (المحسوبة بواسطة المؤلف):

Name اسم لعناصر التحويل

Ellip A الاليبسويد الأول (للتحويل منه) و هنا سيكون WGS84

Ellip B الاليبسويد الثاني (للتحويل إليه) و هنا سيكون Helmert 1906

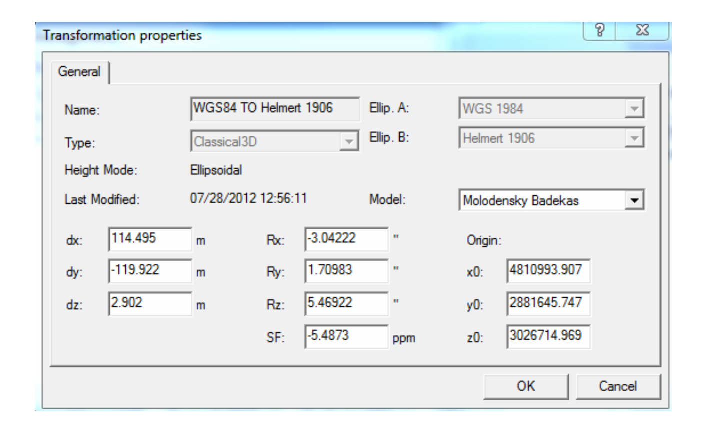
Type نوع التحويل فان كان ثلاثي الأبعاد 3D فيتطلب معرفة ٧ عناصر تحويل (و هو الأدق) و إن كان ثنائي الأبعاد 2D فيتطلب ٤ عناصر فقط.

Model النموذج الرياضي للتحويل و هو إما Bursa-Wolf أو Molodenskii-Badekas (الثاني يتطلب ١٠ عناصر تحويل)

dx, dy, dz قيم عناصر الإزاحة بالمتر

Rx, Ry, Rz قيم عناصر الدوران بالثانية

SF قيمة معامل القياس scale factor بوحدات الجزء من مليون ppm

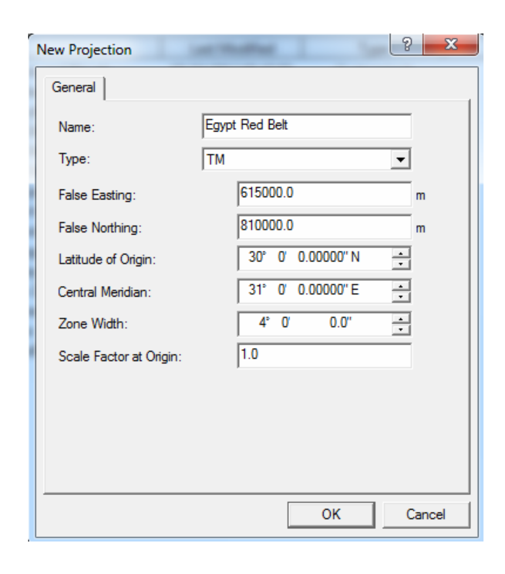


ثم نضغط OK.

<u>(ج) تحديد عناصر الإسقاط:</u>

من القائمة الرئيسية اليمني في برنامج LGO نضغط أيقونة نظم الإحداثيات Coordinate Systems ومن القائمة الفرعية نضغط Projections فنجد بعض عناصر الإسقاط المشهورة عالميا. نضغط بالماوس الأيمن علي Projections ثم نختار New لإنشاء عناصر إسقاط جديدة. هنا سنستخدم قيم إسقاط الحزام الأحمر في مصر (صفحة ٣٦) كالتالي:

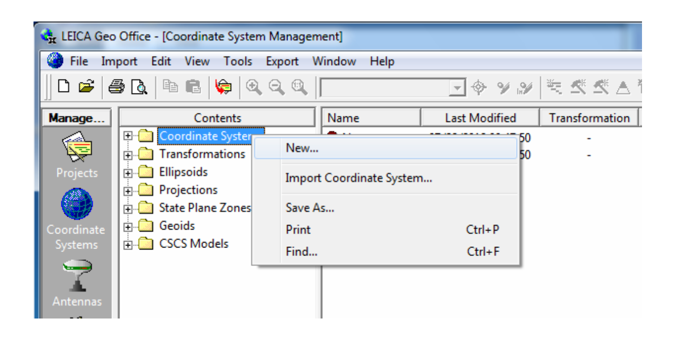
Name	اسم لهذا المسقط
Type	نوع الإسقاط، وهنا سنفتح السهم الأسود الصغير ونختار نوع ميريكاتور المستعرض TM (وليس UTM العالمي) وهو المستخدم في مصر.
False Easting	الإحداثيات الزائفة الشرقية
False Northing	الإحداثيات الزائفة الشمالية
Latitude of Origin	دائرة العرض الأساسية
Central Meridian	خط الطول المركزي
Zone Width	عرض الشريحة
Scale Factor at Origin	معامل القياس عند خط الطول المركزي



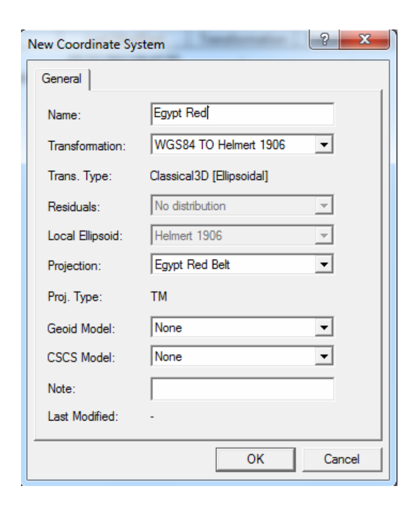
ثم نضغط OK.

<u>د) تحديد نظام إحداثيات:</u>

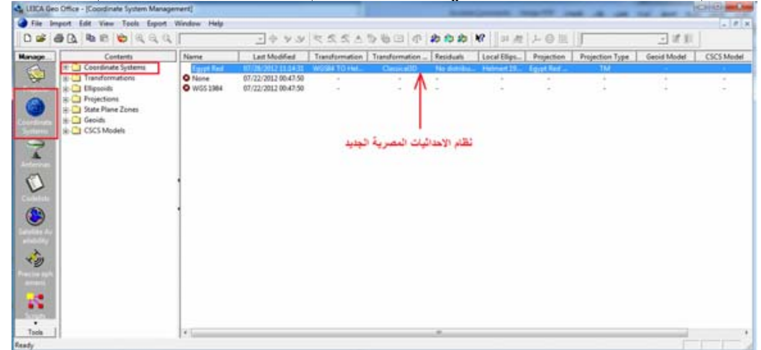
من القائمة الرئيسية اليمني في برنـامج LGO نضغط أيقونة نظم الإحداثيات Coordinate Systems ومـن القائمة الفرعيـة نـضغط Systems Coordinate فـلا نجـد إلا نظـام WGS1984 العـالمي. نـضغط بالمـاوس الأيمن علي Coordinate Systems ثم نختار New لإنشاء نظام إحداثيات جديد.



نعطي اسم لهذا النظـام الجديد أما خانـة Name. نفتح السـهم الـصغير بجوار خانـة عناصـر التحويل Transformations ونختار العناصر التي قمنا بانشاؤ ها في <u>الخطوة</u> ب WGS84 TO Helmert 1906. ثم نفتح السهم الصغير أمـام خانـة الإسقاط Projections ونختـار عناصر الإسقاط التي قمنا بانشاؤ ها في <u>الخطوة</u> ج Egypt Red Belt، ثم نضغط OK:



الآن سيظهر لنا نظام الإحداثيات الجديد في قائمة النظم المتاحة للاستخدام:

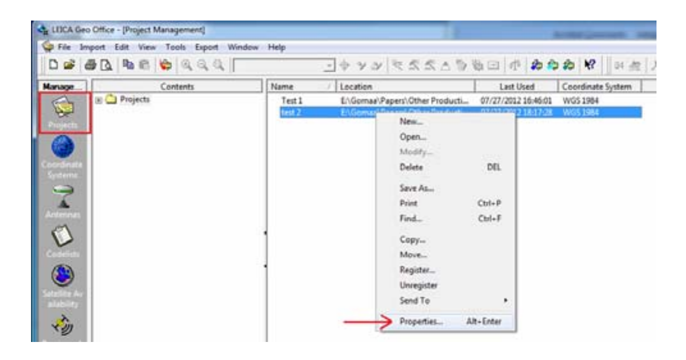


بمثل الخطـوات الـسابقة يمكننـا إنـشاء نظـام إحـداثيات وطنـي لأي دولـة أخـري بعد معرفـة قيم العناصر المطلوبة (عناصر التحويل بين المراجع بالإضافة لعناصر نظام الإسقاط ذاته).

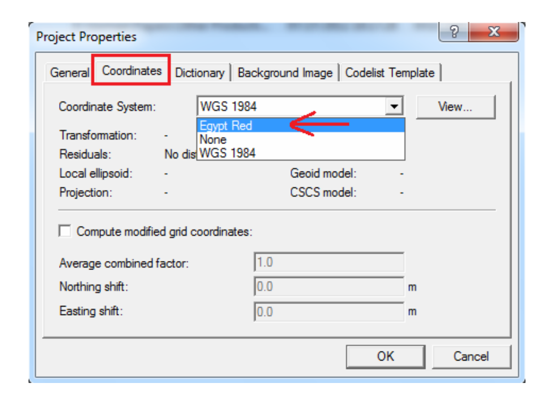
٩-٤-٢ تحويل الإحداثيات

لتحويل إحداثيات كل النقاط الموجودة في مشروع في برنامج LGO لا يلزمنا إلا تغيير نظام إحداثيات المشروع قبل فتحه.

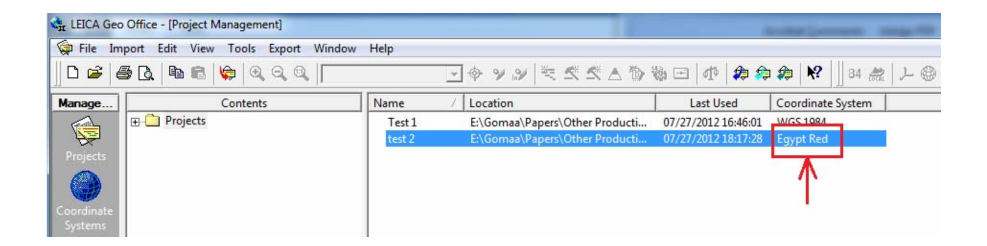
من القائمة الرئيسية للبرنامج نضغط أيقونة المشروعات Projects فنجد أسماء المشروعات الحالية. فمثلا المشروع test2 المبني علي نظام إحداثيات WGS 1984 العالمي (حسابات الشبكة الجيوديسية المربوطة علي محطة IGS في الجزء السابق). نضغط بالماوس الأيمن علي اسم هذا المشروع ونختار أمر خصائص Properties :



نضغط أيقونة الإحداثيات Coordinates (من السطر العلوي) ثم نفتح السهم الصغير بجوار خانة نظام الإحداثيات Coordinate System ونختار نظام الإحداثيات المصري الذي قمنا بانشاؤه في الخطوة السابقة ثم نضغط Ok:

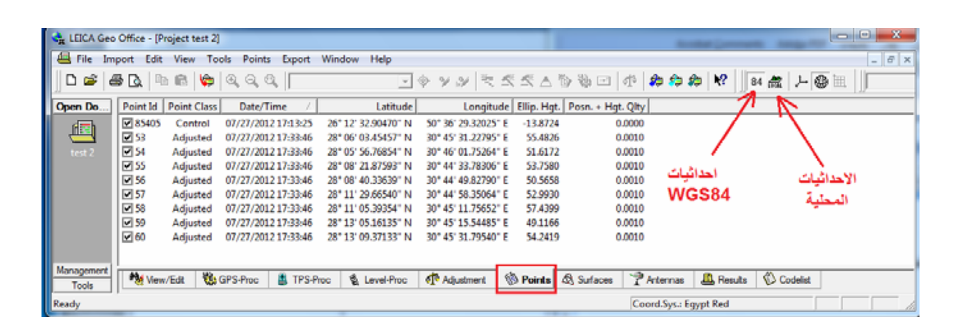


نلاحظ أن نظام الإحداثيات لهذا المشروع قد تغير الآن وأصبح Egypt Red (بدلا من WGS1984):

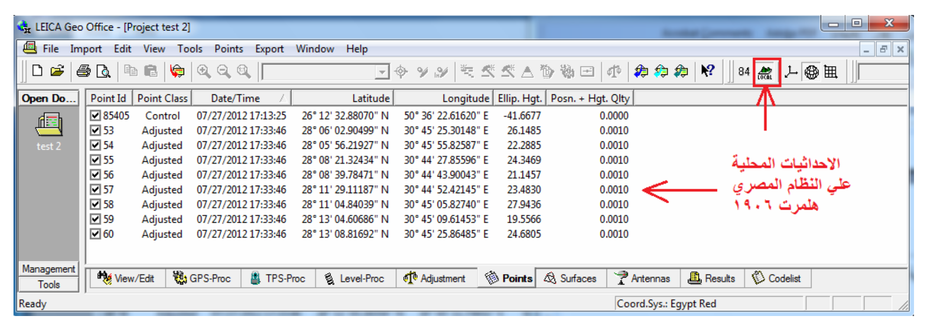


الآن سنفتح هذا المشروع (بالضغط عليه ضغطتين متتاليتين دوبل كليك). بالضغط علي أيقونة نقاط Points في شريط الأدوات السفلي تظهر لنا قائمة بإحداثيات نقاط الشبكة. نلاحظ في

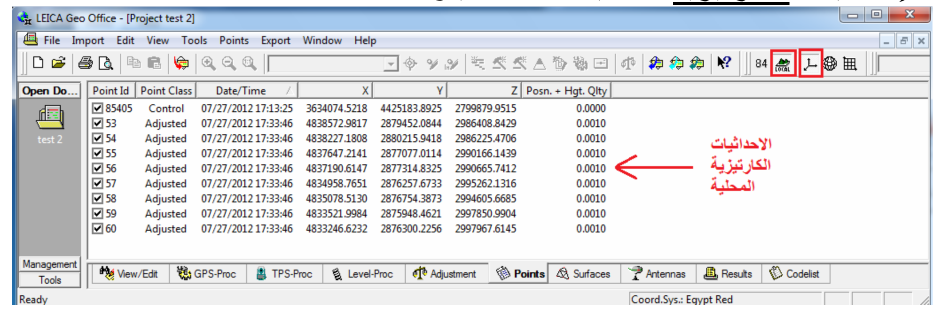
شريط الأدوات العلوي أن أيقونة 84 هي المفعلة الآن، بمعني أن الإحداثيات الظاهرة علي الشاشة هي إحداثيات النقاط علي المرجع العالمي WGS84. أيضا سنجد أيقونة Local قد أصبحت نشطة الآن لأول مرة (لم تكن نشطة من قبل) وهي الأيقونة الخاصة بإظهار الإحداثيات المحلية أو الوطنية. تم تنشيط هذه الأيقونة بعد أن قمنا بتغيير نوع نظام إحداثيات المشروع:



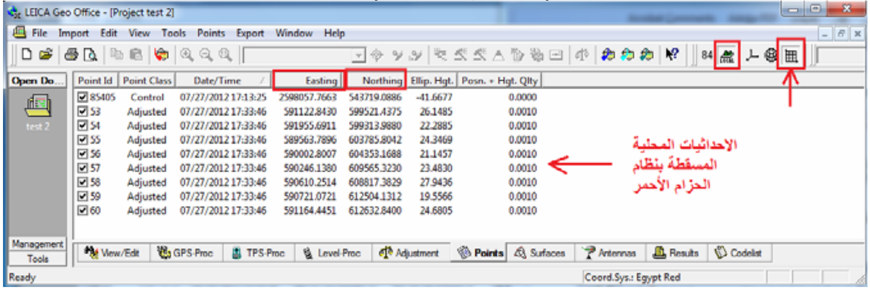
الآن سنضغط أيقونة الإحداثيات المحلية ليتم عرض الإحداثيات الجغرافية الوطنية لنقاط الشبكة:



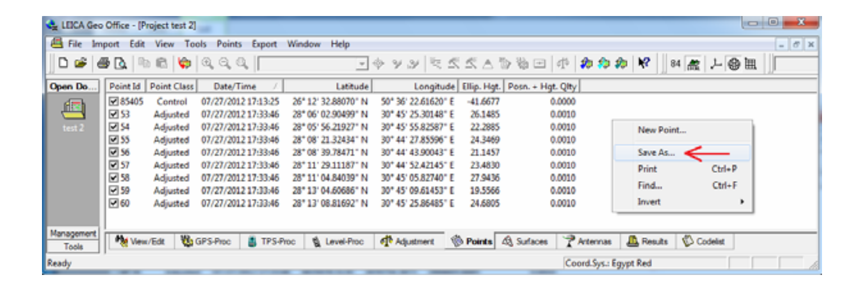
إذا أردنا الإحداثيات الكارتيزية المحلية فنضغط أيقونة Cartesian:



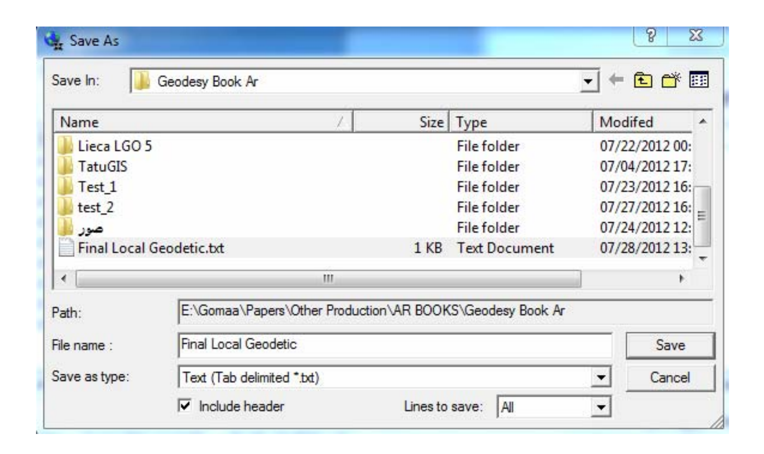
إذا أردنا الإحداثيات المسقطة المحلية (الحزام الأحمر) فنضغط أيقونة Grid:



لحفظ (أو تصدير) الإحداثيات المعروضة علي الشاشة نضغط بالماوس الأيمن ثم نختار Save As:



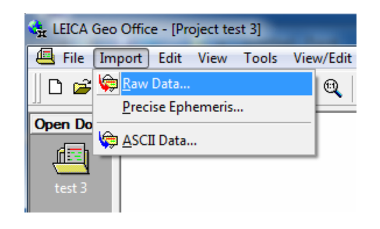
نكتب اسم الملف و نختار نوعه (مثلا ملف نصي text) :



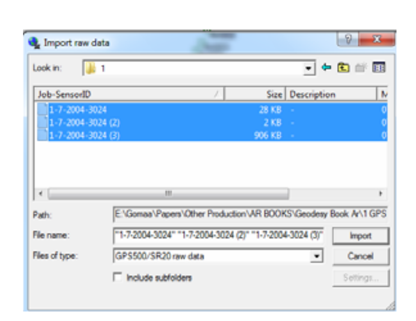
٩-٥ حسابات الرفع التفصيلي

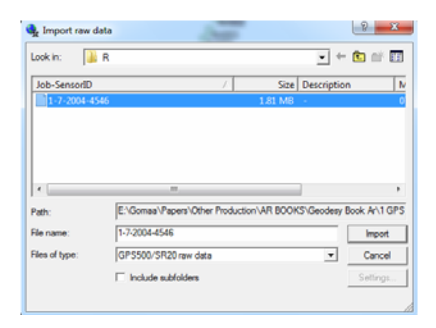
بعد الانتهاء من إنشاء شبكة الثوابت الأرضية (شبكة التحكم Control Network) للمشروع المساحي وضبطها في الصورة النهائية يبدأ الرفع المساحي التفصيلي للمشروع. في المثال التالي كان المشروع عبارة عن عمل قطاعات للرفع الطبوغرافي لمنطقة الدراسة بهدف إنشاء خرائط كنتورية، وذلك باستخدام عدة أجهزة جي بي أس بحيث يقوم كل جهاز برفع قطاع طولي لمسافة ٢ كيلومتر تقريبا، وعلي هذا القطاع يتم تحديد نقطة كل ٥٠ متر. أستخدمت في هذا المشروع طريقة الوقوف و الحركة Stop-and-Go بحيث يبدأ الجهاز المتحرك Rover GPS عند بداية القطاع ويرصد إشارات الأقمار الصناعية في الوضع الثابت Static لمدة ٢ دقيقة ثم يبدأ في التحرك لمسافة ٥٠ متر ثم يقف ليرصد ثاني نقطة في القطاع من الوضع الثابت لمدة ٢ دقيقة ثم يتحرك .... وهكذا (الجهاز مازال يعمل أثناء الحركة). وفي نفس وقت الرفع التفصيلي المطلوب كان هناك جهاز جي بي أس يحتل احدي نقاط الشبكة في الوضع الثابت Static ليتم استخدامها كنقطة مرجعية (نقطة ربط) لكل أرصاد الأجهزة المتحركة Rover في هذا اليوم.

لا تختلف خطوات حسابات الرفع كثيرا عن خطوات حسابات الشبكة، فنبدأ بإنشاء مشروع جديد في برنامج LGO ويكون نظام إحداثياته هو WGS 1984. ثم نبدأ في استيراد البيانات Import Raw Data إلي المشروع الجديد:

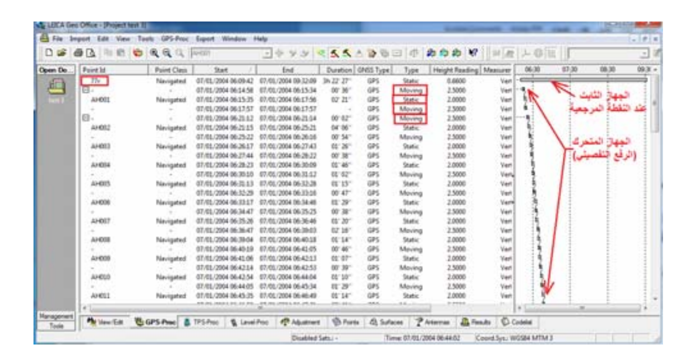


نقوم باستيراد بيانات الجهاز الثابت (المحطة المرجعية) ثم نقوم باستيراد بيانات الجهاز المتحرك.

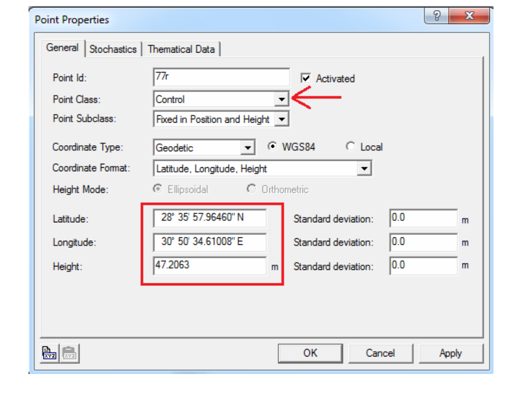




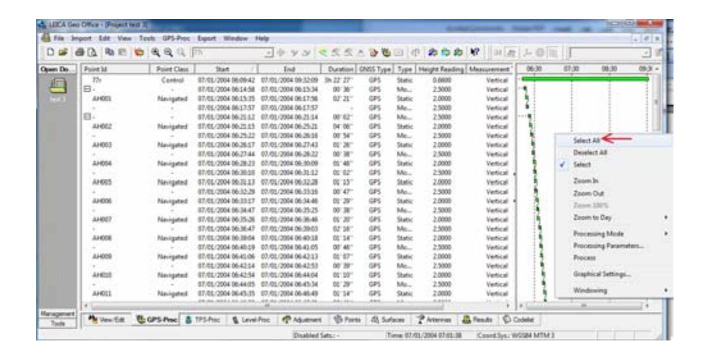
من نافذة العرض View/Edit (في شريط الأدوات السفلي) نجد برنامج LGO قد تعرف علي نوع بيانات كل جهاز فالجهاز عند النقطة 77r له أرصاد ثابتة مستمرة Static بينما الجهاز الثاني Rover له أرصاد تتغير من static إلي moving كل دقيقتين تقريبا:



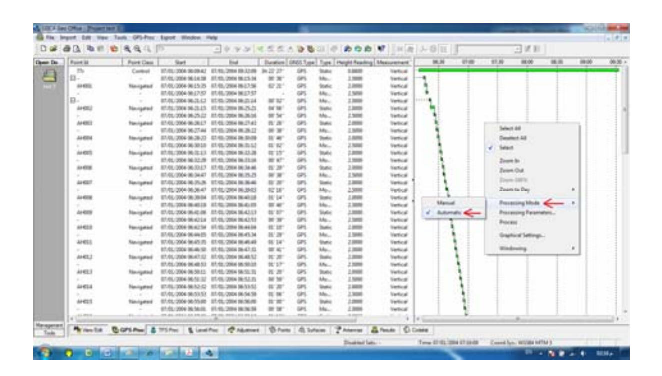
لبدء أولي خطوات الحسابات التفصيلية نحدد قيمة الإحداثيات الدقيقة لنقطة الربط المرجعية (الناتجة من الضبط النهائي للشبكة الجيوديسية للمشروع). نضغط علي النقطة بالماوس الأيمن ونختار خصائص Properties ثم نغير حالتها Point Class إلي نقطة تحكم Control ونكتب قيم إحداثياتها الحقيقية ونجعل قيم الانحراف المعياري = صفر ثم نضغط OK:



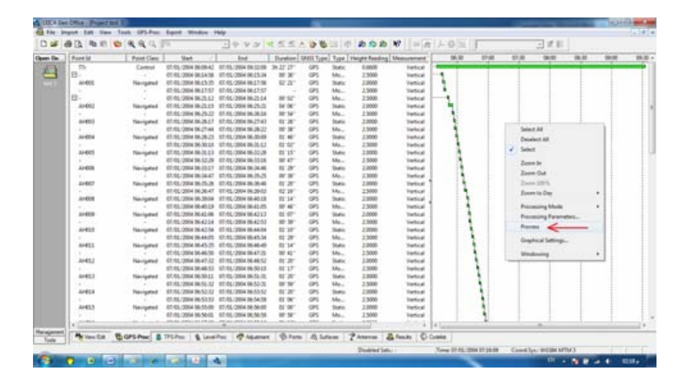
في نافذة الحسابات GPS-Process (أسفل الشاشة) نضغط الماوس الأيمن ونختار Select All:



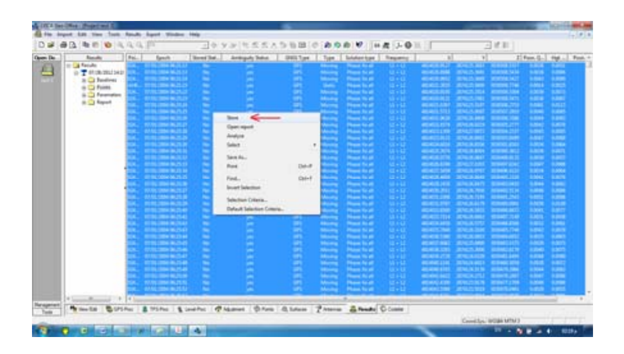
نتأكد من أم طريقة الحسابات Processing Mode الحالية هي الطريقة الآلية Automatic :



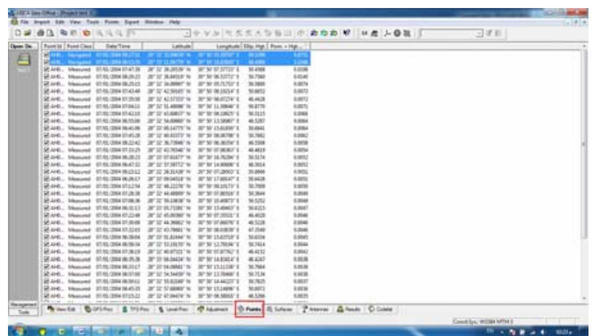
ثم نبدأ الحسابات من أمر Process:



عند ظهور النتائج نضغط الماوس الأيمن و نختار حفظ Store (لاحظ أن قيمة خطأ الغموض Ambiguity قد تم حلها لكل أرصاد الرفع التفصيلي حيث كان الجهاز يقف ساكنا static لمدة دقيقتين تقريبا علي كل نقطة):

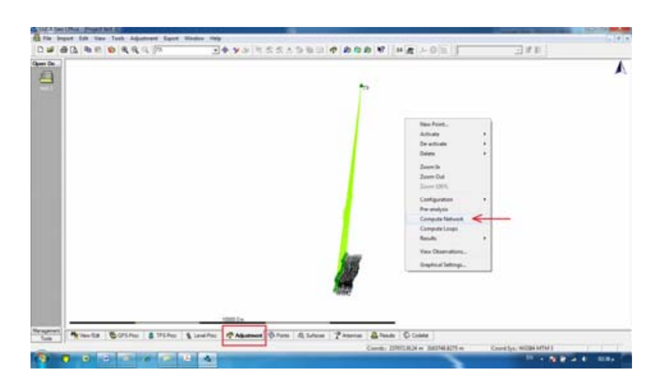


بالانتقال إلي شاشة النقاط Points نجد أن هناك نقطتين لم يتم حساب إحداثيات دقيقة لهما (نوع الإحداثيات هو الإحداثيات الملاحية Navigated) وقيم الانحراف المعياري (العمود الأخير) لهما كبيرة. بينما باقي نقاط الرفع التفصيلي كلهم من نوع الإحداثيات المقاسة Measured وانحرافهم المعياري عدة ملليمترات فقط:



فنقوم بحذف هاتين النقطتين و الإبقاء علي نتائج باقي نقاط الرفع التفصيلي.

نقوم بتنفيذ أمر الضبط Compute Network (من شاشة الضبط Adjustment):



بالعودة لشاشة النقاط Points نجد أن قيم الانحراف المعياري لنقاط الرفع التفصيلي تتراوح بين ٠.٠٢٨ متر و ٠.٠٧٤ متر مما يدل علي جودة أرصاد الرفع التفصيلي للمشروع طبقا لأهدافه (إنشاء خرائط كنتورية).

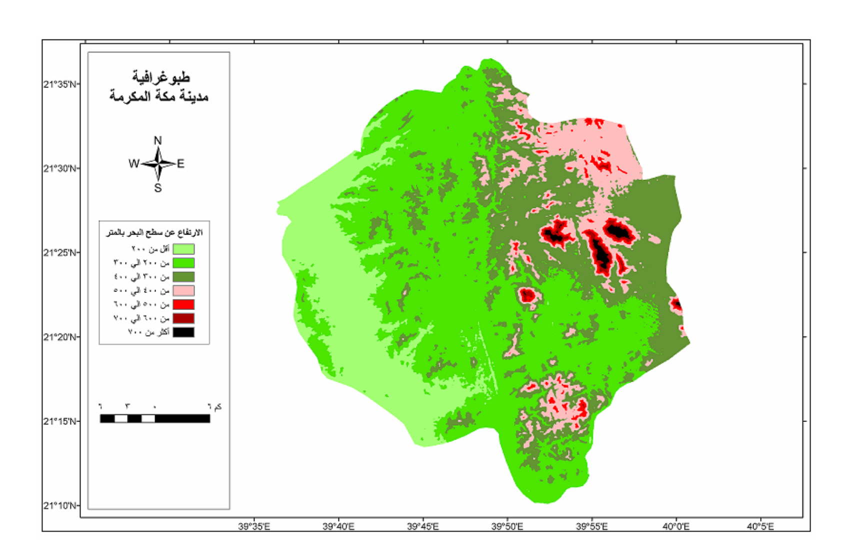
إذا أردنا الحصول علي الإحداثيات الوطنية (المحلية) لنقاط الرفع التفصيلي فنتبع نفس الخطوات السابقة بتغيير نظام إحداثيات المشروع من WGS84 إلي النظام المصري المحلي Egypt Red الذي قمنا بانشاؤه في الجزء السابق.

الفصل العاشر

موضوعات جيوديسية أخري

١٠-١ نماذج الارتفاعات الرقمية

نمـوذج الارتفـاعات الرقمية Digital Elevation Model أو اختصارا DEM هو ملف رقمي يحتوي بيانات الارتفاع (المنسوب) لمنطقة جغرافية محددة. قد يكون نموذج الارتفاعات الرقميـة فـي صـورة خطية Vector (مجموعة من السطور يتكون كل سطر من الإحداثيات الثلاثـة س،ص،ع لنقطـة) أو قـد يكـون فـي صـورة شـبكية Raster لتمثيـل تـضاريس أو طبوغرافية سطح الأرض في المنطقة.



تضاريس مدينة مكة المكرمة من نموذج ارتفاعات رقمية

يمكن الحصول علي نموذج ارتفاعات رقمية بطرق متعددة أو من خلال عدة مصادر للبيانات Input منهم علي سبيل المثال:

أ- قياسـات المساحة الأرضـية بـأجهزة الميـزان أو المحطـة الـشاملة Total Station أو أجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS ثم نستخدم أحد برامج الكمبيوتر لإنشاء نموذج الارتفاعات الرقمية لمنطقة الدراسة.
ب- من الخرائط الكنتورية (بعد ترقيمها علي الحاسب الآلي).
ت- من الصور الجوية Aerial Photographs.
ث- من مرئيات الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد Remote-Sensing Images.
ج- من نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية المجانية.

تستخدم نماذج الارتفاعات الرقمية في بعض التطبيقات الجيوديسية مثل حسابات تصحيح شذوذ بـوجير للجاذبية الأرضـية (أنظر ٦-٦) و أيـضا حسابات نمذجـة الجيويد من أرصـاد الجاذبيـة الأرضية (أنظر ٧-٥-١).

١٠-١-١ نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية

تعد نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية بديلا مناسبا (في حالة عدم توافر معلومات محلية عن تضاريس منطقة معينة) لعدة أسباب: (١) سهولة الحصول عليها من شبكة الانترنت، (٢) مجانية الحصول عليها، (٣) أنها نماذج عالمية تغطي كافة أرجاء اليابسة علي سطح الأرض.

وهناك عدة نماذج ارتفاعات رقمية عالمية متاحة مجانا ومنها علي سبيل المثال:

- نموذج GLOBE:
http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html
- نموذج ETOPO2:
http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html
- نموذج ASTER:
http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/
- نموذج SRTM:
http://srtm.usgs.gov/

يعد نموذجي الارتفاعات الرقمية SRTM ,Aster من أكثر النماذج استخداما حول العالم وخاصة من حيث قدرة التمييز المكاني Spatial resolution.

نموذج SRTM من تطوير كلا من هيئة المساحة العسكرية الأمريكية ووكالة الفضاء الأمريكية ويوجد منه ٣ مستويات من الوضوح المكاني (أو قدرة التمييز المكاني):

- SRTM30 حيث طول الخلية الواحدة pixel يبلغ ٣٠ ثانية من خطوط الطول و دوائر العرض (أي حوالي ٩٠٠ متر)
- SRTM3 حيث طول الخلية الواحدة pixel يبلغ ٣ ثانية (أي حوالي ٩٠ متر)
- SRTM1 حيث طول الخلية الواحدة pixel يبلغ ١ ثانية (أي حوالي ٣٠ متر).

كلا النموذجين SRTM3 ,SRTM30 متاحين مجانا علي الانترنت، بينما النموذج الثالث SRTM1 متاح فقط لمنطقة شمال أمريكا (الولايات المتحدة الأمريكية و كندا فقط).

أما نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي Aster فهو من تطوير كلا من وزارة الصناعة اليابانية ووكالة الفضاء الأمريكية، وله مستوي واحد من قدرة التمييز المكانية والذي يبلغ ٣ ثانية أي ٩٠ متر.

تعد قدرة التمييز المكاني من العناصر الأساسية لأي نموذج ارتفاعات رقمي حيث أنها تعبر عن قدرة النموذج في تمثيل تضاريس سطح الأرض. إن طول الخلية pixel يعبر عن طول و عرض أصغر منطقة يمكن تمييز قيمة منسوب الأرض عندها، أي أن قيمة المنسوب تكون واحدة (كقيمة متوسطة) لهذه الخلية و لا يمكن معرفة أية تفاصيل طبوغرافية داخل هذه الخلية.

أما عن دقة بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية فأن الموقع الرسمي لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) يحدد دقة نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي SRTM بقيمة تتراوح بين ± ٦–١٠ متر علي المستوي العالمي، و دقة نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي Aster بقيمة تتراوح بين ± ٧ – ١٤ متر علي المستوي العالمي. أي أن قيمة منسوب أي نقطة مستنبطة من

نموذج الارتفاعات الرقمية SRTM تحتمل خطأ متوقع قيمته تتراوح بين ٦ و ١٠ أمتار، بينما قيمة منسوب أي نقطة مستنبطة من نموذج الارتفاعات الرقمية Aster تحتمل خطأ متوقع قيمته تتراوح بين ٧ و ١٤ متر. أجريت حديثا دراسة في مدينة مكة المكرمة (للمؤلف مع كلا من د. خالد الغامدي و د. معراج مرزا) أثبتت أن دقة نموذج SRTM3 تبلغ ± ٥.٨٥ متر بينما دقة نموذج Aster تبلغ ± ٨.٦٦ متر في مدينة مكة المكرمة.

١٠-١-٢ استيراد ملفات ارتفاعات رقمية SRTM3

توجد طريقتان لاستيراد ملفات نموذج الارتفاعات الرقمية SRTM3: إما مباشرة من مواقع الانترنت التي تعرض بيانات هذا النموذج، أو باستخدام برنامج الجلوبال مابر.

الاستيراد من ملفات

الطريقة الأولي:

توجد عدة مواقع وعدة طرق لتحميل بيانات نموذج SRTM إلا أن أسهل المواقع للتحميل هو:

http://www.cgiar-csi.org/data/elevation/item/45-srtm-90m-digital-elevation-database-v41



ننزل في نهاية الصفحة لجزء التحميل بالاستعراض:





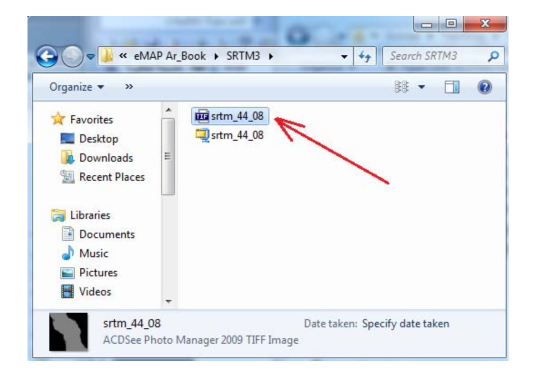
عندها تظهر صورة مصغرة للملف المطلوب تحميله (الذي يغطي المنطقة المطلوبة) فنضغط أيقونة GeoTIFF لتحميل الملف في صورة raster (يمكن أيضا تحميله في صورة ASCII):

بعد عدة ثواني تظهر نافذة تحميل الملف المطلوب:



فنضغط **حفظ** ، و طبقا لسرعة تحميل الانترنت سيتم تحميل الملف في عدة ثواني أو أكثر فحجمه ١٩ ميجا فقط

بفك الضغط عن هذا الملف (ببرنامج WinZip أو Winrare) فنحصل علي ملف صورة srtm_44_08.tif ويكون حجمه ٦٩ ميجا بايت تقريبا:



مشكلة هذا الموقع (هذه الطريقة) أن كل ملف يغطي منطقة تشمل ٥ درجات من خطوط الطول و ٥ درجات من دوائر العرض (لذلك حجم الملف كبير نسبيا). مثلا الملف السابق سيغطي المنطقة من دائرة عرض ٢٠ شمالا إلي دائرة عرض ٢٥ شمالا و من خط طول ٣٥ شرقا إلي خط طول ٤٠ شرقا. لذلك سنحتاج لطريقة للاقتطاع منطقة الدراسة (مثلا مدينة مكة المكرمة) سواء باستخدام برنامج الجلوبال مابر نفسه أو باستخدام الأدوات المتقدمة للتحليل المكاني في برنامج Arc GIS. لكن – وعلي الجاني الآخر – فأن هذا الموقع يتميز بسهولة التشغيل و التحميل كما رأينا.

الطريقة الثانية:

تعتمد هذه الطريقة علي التحميل المباشر من الموقع الرسمي لوكالة الفضاء الأمريكية ناسا (باستخدام بروتوكول الانترنت المعروف باسم ftp). يجب ملاحظة أن بعض برامج الاتصال بالانترنت (وخاصة من سيرفرات بعض الجهات الحكومية) لا تدعم بروتوكول ftp الخاص بتبادل الملفات عبر الانترنت – وهو المختلف عن بروتوكول http العادي المستخدم في عرض صفحات الانترنت – ويجب أولا ضبط إعدادات برنامج الانترنت – سواء الاكسبلورور العادي أو أي برنامج متصفح آخر – ليدعم تشغيل ftp قبل البدء في الخطوات التالية.

الدخول لسيرفر بيانات نموذج SRTM من الرابط:

ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/

سنجد ٣ مجلدات للبيانات:

- SRTM1 وهو النموذج الذي يتمتع بقوة توضيحية أفقية horizontal resolution تبلغ ١ ثانية (أي حوالي ٣٠ متر) وهذا يعني أن المسافة الأفقية بين كل نقطتين متتاليتين معلوم الارتفاع عندهما تبلغ ٣٠ متر. وللأسف الشديد أن هذا النموذج معلن فقط للأراضي الأمريكية وسري لباقي دول العالم حيث أنه أدق نماذج SRTM الثلاثة.

- SRTM3 وهو النموذج الذي يتمتع بقوة توضيحية أفقية horizontal resolution تبلغ ٣ ثانية (أي حوالي ٩٠ متر) وهذا يعني أن المسافة الأفقية بين كل نقطتين متتاليتين معلوم الارتفاع عندهما تبلغ ٩٠ متر.

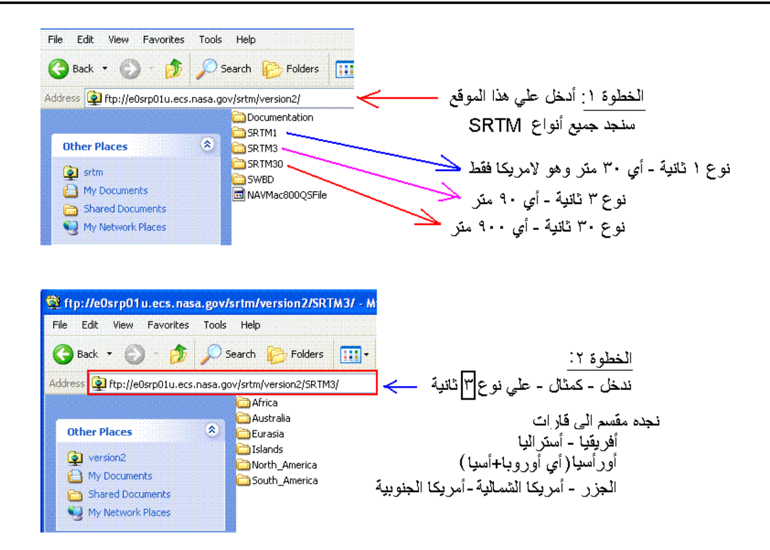
- SRTM30 وهو النموذج الذي يتمتع بقوة توضيحية أفقية horizontal resolution تبلغ ٣٠ ثانية (أي حوالي ٩٠٠ متر) وهذا يعني أن المسافة الأفقية بين كل نقطتين متتاليتين معلوم الارتفاع عندهما تبلغ ٩٠٠ متر.

للتحميل من نموذج SRTM3 :

بمجرد الضغط مرتين double click علي مجلد SRTM3 في الرابط:

ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/srtm3/

سنجد البيانات مقسمة في مجلدات كل مجلد يغطي قارة بأكملها كما في الصورة التالية:



إذا أخذنا مثال لبيانات قارة أفريقيا (أي دخلنا داخل مجلد Africa) سنجد الملفات مرتبة بأسمائها، واسم كل ملف يحدد المنطقة التي تغطيها بيانات هذا الملف.

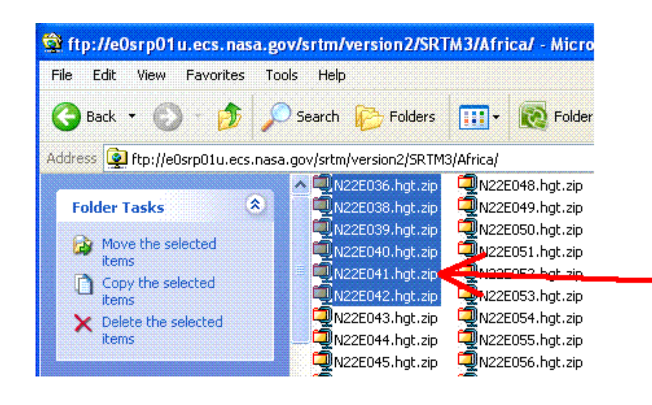
لتخزين ملف معين هناك طريقتين:

- بالضغط بالزر الأيمن للماوس علي اسم الملف ستظهر قائمة نختار منها أمر "نسخ إلي مجلد" copy to folder وباختيار هذا الأمر نحدد اسم المجلد (علي الهارد ديسك) المطلوب نسخ الملف إليه.
- أو يمكن اختيار أمر نسخ copy ثم من الويندوز نذهب للمكان المطلوب النسخ إليه ثم نضغط الزر الأيمن للماوس ونختار لصق paste (مثل طريقة نسخ الملفات في الويندوز العادية).



ملاحظات هامة:

أولا: طريقة تقسيم ملفات SRTM3 داخل مجلدات بأسماء القارات تمت بحيث قسمت الأرض إلي مربعات يغطي كل مربع قارة بأكملها. لكن هذه الطريقة أثارت مشكلة: لوضع مربع جول قارة أفريقيا بأكملها فقد دخلت بعض أجزاء من غرب قارة أسيا داخل هذا المربع الكبير! وأدي هذا إلي وجود ملفات تغطي غرب آسيا داخل مجلد قارة أفريقيا ، وخاصة الملفات التي تغطي غرب المملكة العربية السعودية علي سبيل المثال:



٥ يجب ملاحظة أن تقطيع الملفات طبقا للقارات تم بصورة مربعة تماما و هذا أدي الي أن بعض ملفات لمناطق تقع في غرب قارة اسيا دخلت تحت مجلد أفريقيا

مثال: هذه الملفات لمناطق في السعودية ومع ذلك نجدها في مجلد أفريقيا !! لذلك يجب البحث عن المنطقة المطلوبة في كلا المجلدين : أفريقيا و أوروبا-أسيا

ثانيا: حجم كل ملف من ملفات نموذج SRTM3 يبلغ أقل من ١.٥ ميجابايت فقط ، أي أن تحميل الملفات لن يستغرق وقتا طويلا.

تتميز هذه الطريقة (هذا الموقع) أن كل ملف سيغطي منطقة تمتد درجة واحدة من خطوط الطول و درجة واحدة من دوائر العرض، وبالتالي فأن حجم الملف صغير نسبيا بالمقارنة بحجم ملفات الطريقة الأولي. لكن علي الجانب الآخر فأن ملفات هذا الموقع (هذه الطريقة) وبعد فك الضغط عنها تكون من نوع (صيغة) hgt وهي صيغة لا يستطيع برامج كثيرة (مثل Arc Map) التعامل معها مباشرة، وهنا يأتي دور برنامج الجلوبال مابر لفتح هذا النوع من الملفات ثم إعادة تصديره إلي صيغة أخري.

في التمارين التالي سنعتمد علي ملف SRTM3 الذي يغطي جزء من منطقة مكة المكرمة الإدارية:

- في الطريقة الأولي: علي القارئ أن يقوم بتحميل الملف المسمي **srtm_44_08.zip**
- في الطريقة الثانية: علي القارئ أن يقوم بتحميل الملف المسمي **N21E039.zip**

الاستيراد اللحظي من الانترنت باستخدام برنامج الجلوبال مابر

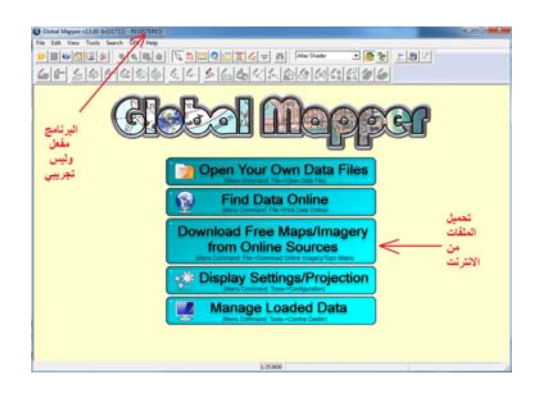
في التمرين الحالي سنقوم بتحميل بيانات تضاريس مدينة مكة المكرمة، والتي تمتد في خطوط الطول من ٣٥' ٣٩° شرقا إلي ٠٢' ٤٠° شرقا وفي دوائر العرض من ٠٩' ٢١° شمالا إلي ٣٧' ٢١° شمالا. بداية سنقوم بتحويل هذه الإحداثيات إلي صيغة الدرجات فقط، بأن نقوم بقسمة الدقائق علي ٦٠ و جمعها مع قيم الدرجات:

٣٥' ٣٩° = (٣٥ ÷ ٦٠) + ٣٩ = ٣٩.٥٨٣٣٣٣ درجة
٠٢' ٤٠° = (٢ ÷ ٦٠) + ٤٠ = ٤٠.٠٣٣٣٣ درجة

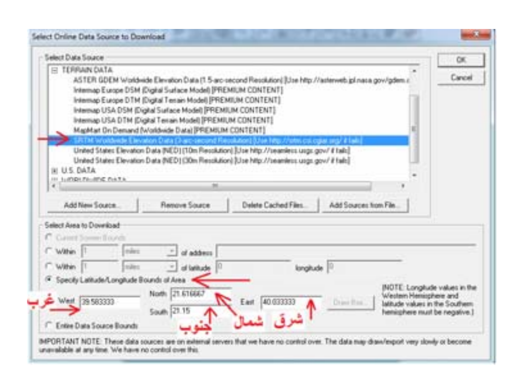
'١٩ ٢١° = (٩ ÷ ٦٠) + ٢١ = ٢١.١٥ درجة
'٣٧ ٢١° = (٣٧ ÷ ٦٠) + ٢١ = ٢١.٦١٦٦٦٧ درجة

نبدأ تشغيل برنامج الجلوبال مابر، وفي الشاشة الرئيسية يجب الانتباه لوجود كلمة Registered في شريط أدوات العنوان فهي تدل علي أن البرنامج مفعل وليس مجرد نسخة تجريبية Demo (النسخة التجريبية لن تكون صالحة لتنفيذ كل أوامر البرنامج).

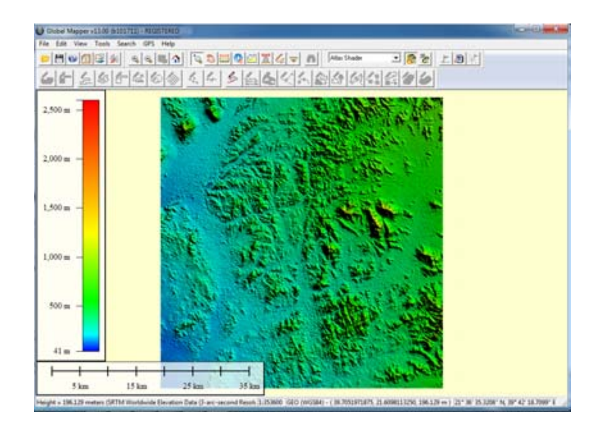
لتحميل الملفات لحظيا من شبكة الانترنت نختار الأيقونة الثالثة **Download Free Maps/Imagery**:



- من قائمة أنواع الملفات القابلة للتحميل المجاني Select Data Source نختار نوع **SRTM Worldwide Elevation Data** (3 arc-second resolution) لتحميل بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية SRTM3.
- في الجزء الأسفل من الشاشة نختار أيقونة تحديد المنطقة المطلوبة **Specify Latitude/Longitude Bounds of Area**
- نكتب إحداثيات المنطقة كالآتي:
  - o الغرب West: ٣٩.٥٨٣٣٣٣
  - o الشرق East: ٤٠.٠٣٣٣٣٣
  - o الشمال North: ٢١.٦١٦٦٦٧
  - o الجنوب South: ٢١.١٥

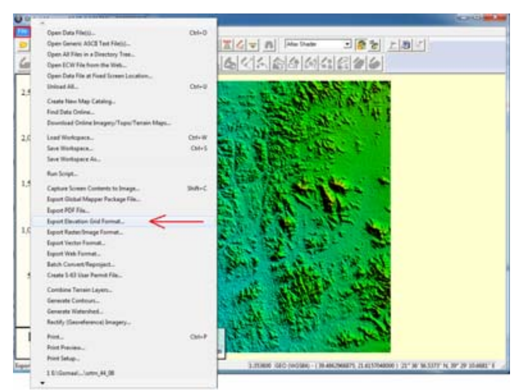


ثم نضغط OK.بناءا علي سرعة الانترنت سيأخذ التحميل بعض الوقت ثم تظهر بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية للمنطقة المطلوبة علي الشاشة:

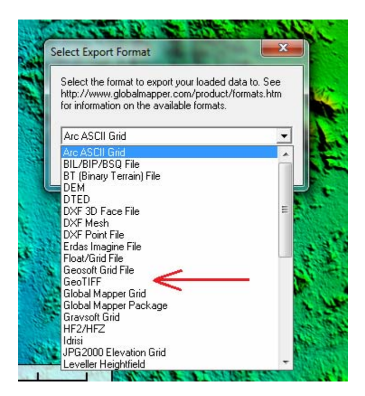


نلاحظ وجود مفتاح للخريطة (علي اليسار) يحدد ألوان تضاريس سطح الأرض، كما يوجد مقياس رسم (يسار أسفل الشاشة). يضم شريط الأدوات السفلي من شاشة البرنامج إحداثيات موضع الماوس (كلما تحركنا بالماوس علي الخريطة) ويظهر بها خط الطول و دائرة العرض و المنسوب أيضا.

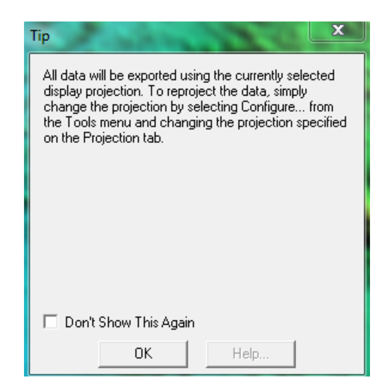
لحفظ بيانات النموذج الذي تم تحميله نضغط أيقونة ملف **File** من القائمة الرئيسية لبرنامج الجلوبال مابر ومنها نختار أمر تصدير ملفات ارتفاعات **Export Elevation Grid Format**:



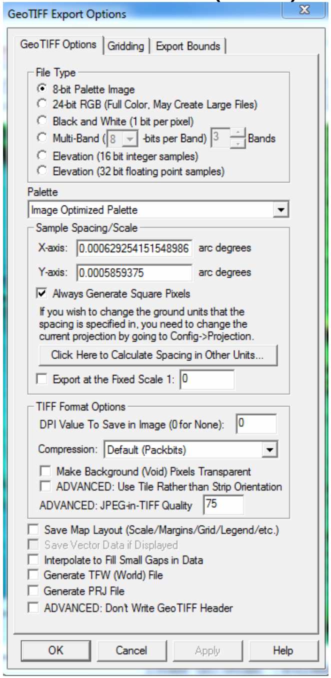
كما سبق الذكر فأن برنامج الجلوبال مابر يدعم أنواع (صيغ) متعددة من الملفات فإذا فتحنا السهم الصغير الأسود تظهر قائمة بأنواع الملفات فنختار منها نوع **GeoTIFF** (نوع شهير من ملفات الصور المرجعة جغرافيا الذي تقبله كافة البرامج الأخرى):



نضغط OK فتظهر رسالة تحذيرية أن تصدير الملف سيتم باستخدام نوع مسقط و إحداثيات الصورة الحالية (جميع ملفات نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية تكون علي المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 وباستخدام الإحداثيات الجغرافية وليس الإحداثيات المسقطة) فنضغط OK:



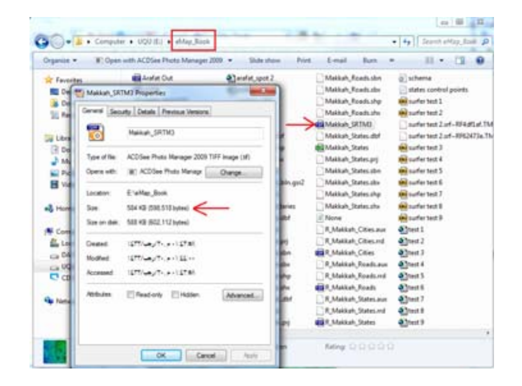
النافذة التالية تحدد عناصر التصدير (الحفظ) و مؤقتا لن نغير بها أي خصائص فنضغط OK:



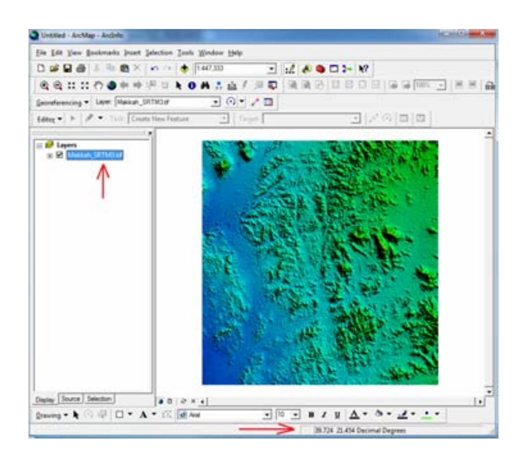
نحدد المجلد الذي سيتم داخله حفظ الملف و كذلك نحدد اسم لهذا الملف ثم نضغط Save:



نجد الملف الآن موجود في المجلد الذي قمنا بتحديده، ونري أن حجمه لا يتجاوز ٠.٥ ميجا لأن المنطقة الجغرافية التي اخترناها (مدينة مكة المكرمة) تعد منطقة صغيرة نسبيا:



كما قلنا أن صيغة ملفات GeoTIFF صيغة شهيرة تدعمها معظم البرامج الحاسوبية للخرائط، فعلي سبيل المثال يمكن فتح هذا الملف بسهولة داخل برنامج Arc Map ونري (في أسفل الشاشة) أن الإحداثيات حقيقية لأن الملف مرجع جغرافيا من الأساس.



١٠-٢ خدمات حسابات الجي بي أس العالمية

تقدم بعض الجهات العالمية خدمات مجانية - علي شبكة الانترنت - لحسابات أرصاد الجي بي أس بصورة دقيقة. تتمثل هذه الخدمات في حساب الإحداثيات الدقيقة لنقطة (أو أكثر) مرصودة بأجهزة الجي بي أس الجيوديسية ثنائية التردد. و تعتمد هذه الحسابات في جوهرها علي خطوتين لزيادة دقة الحسابات والتغلب علي بعض مصادر أخطاء تقنية الجي بي أس: (١) استخدام المدارات الدقيقة Precise Ephemeris بدلا من المدارات الأصلية Broadcast للأقمار الصناعية، (٢) استخدام محطات الشبكة العالمية IGS للربط. وبالتالي فأن مثل هذه الخدمات المجانية قد تقدم بديلا مناسبا لمستخدم الجي بي أس المبتدئ في تحديد إحداثيات دقيقة لنقطة ثوابت يستخدمها لاحقا كنقطة مرجعية للعمل المساحي في حالة عدم توافر شبكة ثوابت أرضية وطنية قريبة من موقع العمل.

لكن يجب الانتباه إلي نقطتين هامتين في نتائج هذه الخدمات المجانية: (أ) أن الإحداثيات النهائية الناتجة للنقاط المرصودة تكون مربوطة بالشبكة العالمية IGS وليس بالشبكة الجيوديسية الوطنية لكل دولة، (ب) أن الإحداثيات تكون فقط علي المجسم العالمي WGS84 ولا يتم تحويلها للمرجع الوطني لكل دولة. أيضا من المهم ملاحظة أن هذه الخدمات المجانية ليست مخصصة لضبط الشبكات إنما هي فقط لحساب الإحداثيات المطلقة Absolute or Point Positioning سواء لنقطة أو أكثر من نقطة من النقاط المرصودة.

من أمثلة مواقع خدمات الحسابات المجانية:

موقع خدمة AUSPOS الاسترالية
http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/auspos-online-gps-processing-service.html

موقع خدمة PPP الكندية
http://www.geod.nrcan.gc.ca

موقع خدمة SCOUT الأمريكية
http://sopac.ucsd.edu/

موقع خدمة OPUS الأمريكية
http://www.ngs.noaa.gov

موقع خدمة APPS الأمريكية
http://apps.gdgps.net/

سنتناول هنا بعض الملامح الرئيسية لكل خدمة من هذه الخدمات.

(١) خدمة AUSPOS الاسترالية:

http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/auspos-online-gps-processing-service.html

تقبل هذه الخدمة ملفات أرصاد الجي بي أس الثابتة Static الناتجة من أجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency GPS Receivers والتي لا تقل فترة الرصد لها عن ساعة و لا تزيد عن ٧ أيام. وعلي المستخدم أن يرفع هذه ملفات الأرصاد الخام Raw Data في صيغة RINEX وليس صيغة أجهزة الجي بي أس لكل شركة (يقوم بنفسه بتحويل ملفاته إلي هذه الصيغة قبل رفعها لموقع الخدمة).

يتم رفع ملفات الأرصاد - إلي موقع الخدمة - من خلال الرابط:
http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl

وبعد التأكد من جودة الملفات و مطابقتها للشروط يتم تنفيذ الحسابات و إرسال تقرير بالنتائج للمستخدم عن طريق بريده الالكتروني.

(٢) موقع خدمة PPP الكندية
http://www.geod.nrcan.gc.ca

خدمة الحسابات الدقيقة للنقاط Precise Point Positioning أو اختصارا PPP هي خدمة تقدمها إدارة المساحة الجيوديسية التابعة لهيئة حماية الموارد الطبيعية بكندا. تتميز خدمة PPP (عن الخدمة الاسترالية) أنها تقبل أرصاد الأجهزة أحادية التردد Single-Frequency بالإضافة لأرصاد الأجهزة ثنائية التردد، كما أنها أيضا تقبل كلا من الأرصاد المتحركة Kinematic والأرصاد الثابتة Static.

يشير موقع الخدمة الكندية إلي أن دقة نتائجه - في المتوسط - تبلغ:
± ٤ سنتيمتر للأرصاد ثنائية التردد لمدة ساعتين.
± ١ سنتيمتر للأرصاد ثنائية التردد لمدة ١٢ ساعة.
± ١ سنتيمتر للأرصاد أحادية التردد لمدة ٢٤ ساعة.

يتطلب استخدام الخدمة الكندية التسجيل أولا من خلال الرابط:
http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php

(٣) موقع خدمة SCOUT الأمريكية
http://sopac.ucsd.edu/

يقدم هذه الخدمة مركز SOPAC (اختصار Scripps Orbit and Permanent Array Center's) وهو أحد المراكز البحثية بجامعة كاليفورنيا الأمريكية.

يسمح موقع هذه الخدمة برفع الملفات الأصلية الناتجة من بعض أنواع أجهزة الجي بي أس الشهيرة (دون الحاجة لتحويلها إلي صيغة RINEX) وهي المنصوص عليها في القائمة الموجودة في الرابط:
http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/scoutSupportedEquipmentTypes.cgi

يتم رفع ملفات الأرصاد - إلي موقع الخدمة - من خلال الرابط:
http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi

وغالبا يتم الرد (تقرير النتائج) في حدود ٣٠ دقيقة من خلال البريد الالكتروني للمستخدم.

(٤) موقع خدمة OPUS الأمريكية
http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/

تقدم هذه الخدمة هيئة المساحة الأمريكية NGS وتتيح الحسابات لأرصاد الجي بي أس الثابتة Static أو الثابتة السريعة Rapid Static فقط (الأرصاد المتحركة Kinematic لم يتم ضمها للخدمة حتى الآن). يجب أن تكون ملفات الأرصاد المرفوعة للخدمة من نوع RINEX، ويجب ألا تقل مدة الرصد للأرصاد الثابتة عن ساعتين و لا تزيد عن ٤٨ ساعة ، أما مدة الرصد للأرصاد الثابتة السريعة فيجب ألا تقل عن ١٥ دقيقة ولا تزيد عن ساعتين. يتم ربط الأرصاد علي محطات الشبكة القومية الأمريكية CORS. تتكون الإحداثيات الناتجة من نوعين: الإحداثيات علي المرجع الوطني الأمريكي و أيضا الإحداثيات العالمية علي مرجع ITRF00. وتكون دقة الإحداثيات النهائية الناتجة في حدود عدة سنتيمترات كما يشير موقع هذه الخدمة.

(٥) موقع خدمة APPS الأمريكية
http://apps.gdgps.net/

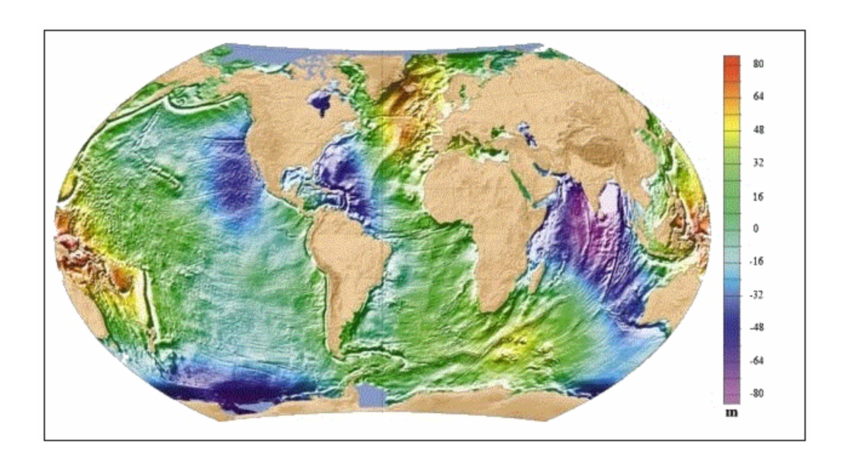
خدمة التحديد الدقيق الآلي للنقاط Automatic Precise Positioning Service (اختصارا APPS) هي خدمة يقدمها معهد الدفع النفاث JPL التابع لمعهد التكنولوجيا بكاليفورنيا CIT بوكالة الفضاء الأمريكية ناسا. كان الاسم القديم لهذه الخدمة هو -Auto

GISPY قبل أن يتغير لأسمها الحالي. تقبل هذه الخدمة ملفات أرصاد الجي بي أس الثابتة Static والمتحركة Kinematic للأجهزة ثنائية التردد فقط في صيغة RINEX بشرط ألا يزيد حجم الملف عن ٥ ميجابايت. تكون الإحداثيات الناتجة علي مرجع ITRF2008.

يتم رفع ملفات الأرصاد - إلي موقع الخدمة - من خلال الرابط:
http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php

١٠-٣ ألتيمترى الأقمار الصناعية

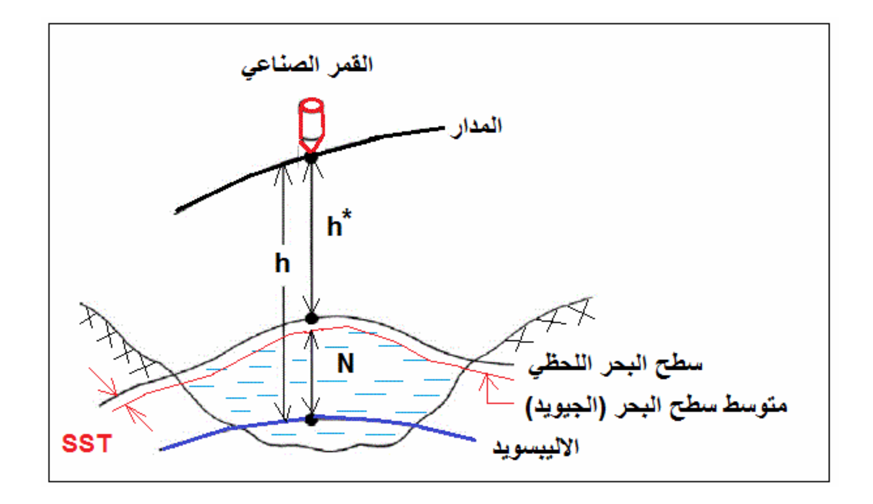
تتكون كلمة ألتيمتر Altimeter من مقطعين: قياس + الارتفاع، أي أن الألتيمتر هو جهاز لقياس الارتفاعات. توجد أقمار صناعية جيوديسية مخصصة لقياس الارتفاعات باستخدام الرادار وتسمي Satellite Altimetry. تعود فائدة هذه القياسات إلي أنها تحدد شكل الأرض (الجيويد) في مناطق البحار و المحيطات من خلال إرسال أشعة الرادار التي تصطدم بسطح البحر وتنعكس مرة أخري ليستقبلها القمر الصناعي. كما سبق الذكر أن سطح الجيويد هو السطح متساوي الجهد الذي يحدده متوسط منسوب سطح البحر، ومن ثم فأن قياس ارتفاع سطح البحر هو في حقيقته تحديد لسطح الجيويد في جزء الأرض المغطي بالمياه (حوالي ٧٠% من سطح الأرض ذاتها). كما تستخدم أقمار الألتيميتري أيضا في قياس مجال الجاذبية الأرضية للأرض ومنها يمكن تحديد الجاذبية الأرضية للبحار و المحيطات.



متوسط سطح البحر MSL من أرصاد ألتيمتري الأقمار الصناعية

من أقمار الألتيمتري قمر GeoSat الذي تم إطلاقه بواسطة البحرية الأمريكية في عام ١٩٨٥م ليدور حول الأرض ١٤.٣ مرة في اليوم ليمسح شكل الجيويد في البحار بتباين أفقي يبلغ ١٠-١٥ كيلومتر ودقة رأسية تبلغ ٠.٠٣ متر. يحتاج هذا القمر لمدة عاو و نصف ليغطي كل الأرض بمدارات كل ٦ كيلومترات تقريبا. يقيس القمر الصناعي في كل لحظة الارتفاع الألتيمتري للنقطة عن سطح البحر h* ، وفي نفس اللحظة فأن الارتفاع الجيوديسي للقمر الصناعي ذاته عن سطح الاليبسويد h يكون معلوما (من خلال جهاز جي بي أس في القمر الصناعي) بحيث يمكن حساب حيود الجيويد N (أحيانا يسمي <u>الجيويد البحري</u> Marine Geoid) من المعادلة :

$$N \approx h^* - h$$



قياسات الجيويد و الألتيمتري

نلاحظ أن المعادلة السابقة تحتوي علامة "يساوي تقريبا ≈ " حيث أن القياس اللحظي يحدد مستوي سطح البحر اللحظي وليس متوسط منسوب سطح البحر أو الجيويد. الفرق بين كلا السطحين هو ما يسمي بطبوغرافية سطح البحر Sea Surface Topography (أو اختصارا SST) والذي تكون قيمته في المتوسط ±١ متر. أي أن المعادلة ستصبح:

$$N = h^* - h - SST$$

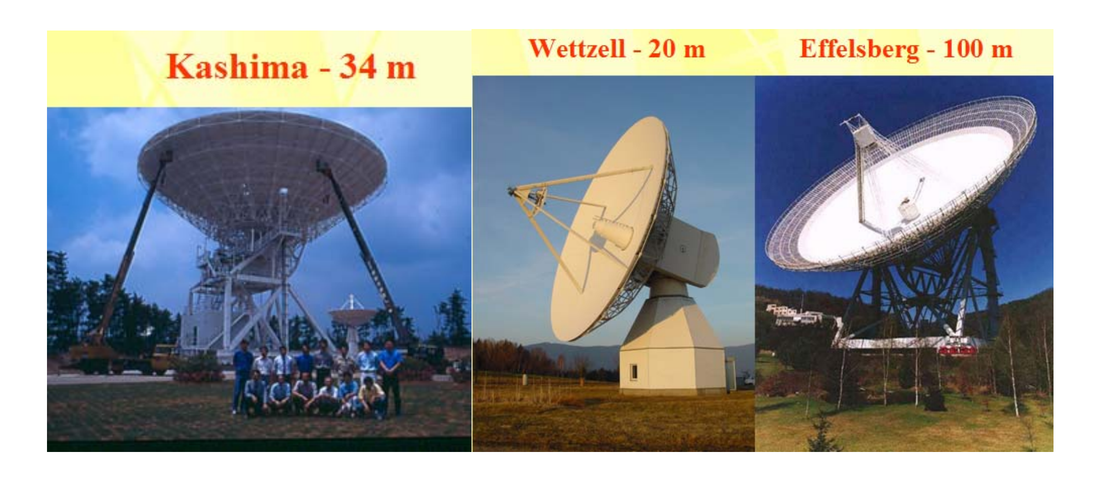
وبالإضافة للتطبيقات الجيوديسية فأن قياسات الألتيمتري الأقمار الصناعية تستخدم أيضا في التطبيقات الجيولوجية و التعدينية و اكتشاف الموارد الطبيعية تحت قاع البحار و المحيطات ومراقبة حركات القشرة الأرضية ومراقبة حركات التيارات البحرية و المد و الجزر.

من الأقمار الصناعية - العاملة حاليا - المخصصة لأرصاد الألتيمتري كلا من:

- ERS-2 الذي أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية في عام ١٩٩٥م
- Jason-1 الذي أطلقته وكالة ناسا الأمريكية في عام ٢٠٠١م
- Jason-2 الذي أطلقته وكالة ناسا الأمريكية في عام ٢٠٠٨م
- EnviSat الذي أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية في عام ٢٠٠٢م
- Cryosat الذي أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية في عام ٢٠١٠م

١٠-٤ خطوط القواعد الطويلة جدا من أرصاد النجوم VLBI

أسلوب أو تقنية خطوط القواعد الطويلة جدا من أرصاد النجوم Very Long Baselines Interferometry (أو اختصارا VLBI) من الأساليب الجيوديسية لقياس خطوط قواعد طويلة (عدة مئات من الكيلومترات) بدقة عالية جدا. يعتمد أسلوب VLBI علي وجود طبقي استقبال أو أنتنتين من نوع خاص (بقطر قد يصل إلي عشرات الأمتار) يستقبلان الموجات الراديوية المنبعثة من النجوم البعيدة عن الأرض. من خلال ربط هذه الموجات المستقبلة زمنيا – بواسطة ساعة ذرية عالية الدقة عند كل أنتنا – وتحليل هذه الأرصاد فأن فرق زمن وصول الأشعة لكلا طبقي الاستقبال يعد دالة في طول المسافة بين طرفي خط القاعدة هذا، ومن ثم يمكن حساب طول خط القاعدة بدقة عالية جدا (أجزاء من الملليمتر).



نماذج لطبق استقبال VLBI

يوجد الآن حوالي ٤٠ منظمة دولية في ١٧ دولة تمتلك محطات VLBI وتستخدمها في العديد من التطبيقات العلمية (http://ivscc.gsfc.nasa.gov/):



محطات VLBI في العالم

تستخدم تقنية VLBI في التطبيقات الجيوديسية و الجيوفيزيقية مثل مراقبة تحركات القشرة الأرضية و حركة الصفائح التكتونية وتحديد عناصر دوران الأرض و حركة القطب الشمالي لها. كما أن خطوط القواعد VLBI تستخدم أيضا لمعايرة أجهزة الجي بي أس.

١٠-٥ قياسات الليزر بالأقمار الصناعية SLR

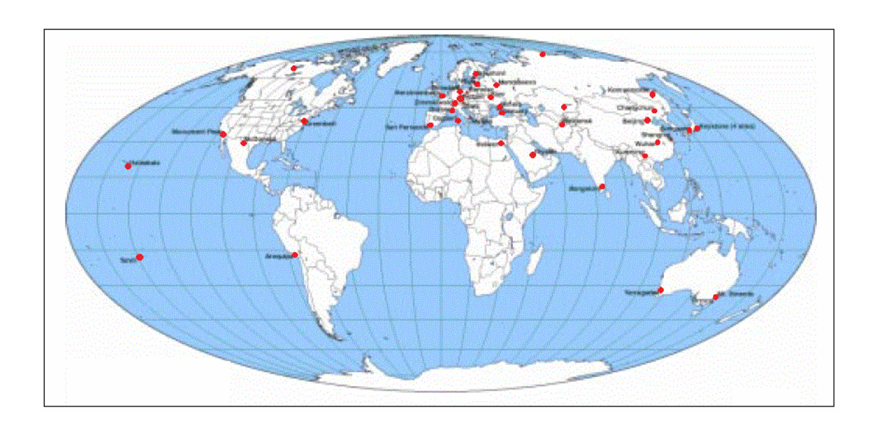
من التقنيات الجيوديسية عالية الدقة تقنية القياس بالليزر علي الأقمار الصناعية Satellite Laser Ranging أو اختصارا SRL. في هذه التقنية يتم إطلاق أشعة ليزر من جهاز الاستقبال علي الأرض إلي قمر صناعي (من نوع خاص) ويتم استقبال الأشعة المنعكسة أو المرتدة من هذا القمر لجهاز الاستقبال مرة أخري. من خلال هذه الأرصاد من شبكة كبيرة من المحطات الأرضية حول العالم يتم تحديد معدلات حركة القشرة الأرضية والتغيرات في مجال

الجاذبية الأرضية والتغير في منسوب سطح البحر و تحديد شكل الجيويد والعديد من التطبيقات العلمية المختلفة بدقة عالية جدا.

بدأت هذه التقنية في عام ١٩٦٤م بطلاق وكالة ناسا الأمريكية للقمر الصناعي الأول من هذا النوع Beacon-B. من أقمار SLR قمر Lageos-1 الذي يتكون من كرة النحاس المغطي بالألمونيوم بقطر ٦٠ سنتيمتر ويزن حوالي ٤١١ كيلوجرام ومغطي بعدد ٤٢٦ مخروط عاكس لأشعة الليزر، و يدور القمر علي ارتفاع ٥٩٠٠ كيلومتر من سطح الأرض. كما تم إطلاق القمر Lageos-2 في عام ١٩٩٢م.



القمر Lageos-1 من أقمار SLR



شبكة محطات SLR



محطة SLR في حلوان بمصر (منذ عام ١٩٧٤م)

المراجع

أولا: المراجع العربية

١- الكتب المطبوعة

الحسيني ، صفوت ، ٢٠٠٢ ، الجيوديسيا ، القاهرة ، مصر.

العيسي ، سميح يوسف ، ٢٠٠٦ ، مبادئ عمل منظومة التوضع GPS ، شعاع للنشر والعلوم ، حلب ، سوريا.

الغزالي ، محمد شوقي ، ١٩٩٧ ، الجيوديسيا الهندسية و نظام تحديد المواقع العالمي ، القاهرة، مصر.

شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٨٩م) المساحة الجيوديسية ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.

٢- الكتب الرقمية

داود، جمعة، ٢٠٠٩، المدخل إلي النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod_GPS_Ar_2010.pdf

داود، جمعة، ٢٠٠٩، مبادئ المساحة:
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Books/1598374/Principles_of_Surveying_in_ARABIC_

داود، جمعة، ٢٠٠٩، الخرائط الرقمية:
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3#cid=0259CB4F889EAEB3&id=259CB4F889EAEB3%212747

مصطفي، محمد رشاد الدين، النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس و استخداماناته في المساحة و الجيوديسيا:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Ar%20Mohamed%20Rashad.pdf

مصطفي، محمد رشاد الدين، إسقاط الخرائط :
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Map%20Projection%20Dr%5E_Rashad.pdf

مصطفي، محمد رشاد الدين، موضوعات مختارة في علوم الجيوديسيا:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%5E_Geodesy%20Ar.pdf

مصطفي، محمد رشاد الدين، نظرية الأخطاء و تطبيقاتها في المساحة:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Errors%5E_Ar.pdf

مصطفي، محمد رشاد الدين، الارتباط بين نتائج الأرصاد:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Corrlation%20Ar.pdf

مصطفي، محمد رشاد الدين، جبر المصفوفات وتصحيحات الأرصاد المساحية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Matrices%5E_Ar.pdf

مصطفي، محمد رشاد الدين، علم الفلك و الجيوديسيا:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Astronomy%20Ar.pdf

مصطفي، محمد رشاد الدين، ضبط الشبكات الجيوديسية بطريقة تغير الإحداثيات:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20G%5E_Net%20Adjust%20Ar.pdf

مصطفي، محمد رشاد الدين، الطرق الدقيقة لرصد الزوايا الأفقية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%5E_Horizontal%5E_Angles%20Ar.pdf

حموي، هيثم، ١٩٩٧م، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ونظام التوضع العالمي GPS:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Hamaoy%2097.pdf

الربيش، محمد بن حجيلان، النظام الكوني لتحديد المواقع GPS :

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Robeesh%201420%20Ar.pdf

المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني، ١٤٢٦ هـ، النظام العالمي لتحديد المواقع، الرياض، المملكة العربية السعودية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20College.pdf

المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني، ١٤٢٦ هـ، المساحة الجيوديسية ١، الرياض، المملكة العربية السعودية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodetic%20Survey%20sur211.pdf

المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني، ١٤٢٦ هـ، المساحة الجيوديسية ٢، الرياض، المملكة العربية السعودية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodetic%20Survey%20ssv2-6.pdf

كلية الهندسة بجامعة الملك سعود بالمملكة العربية السعودية ، نظم إسقاط الخرائط:
http://docs.ksu.edu.sa/KSU_PORTAL/sites/Colleges/Engineering/CE-42-27-28.pdf

أو:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Map%20Projections%20%20Ar.pdf

٣- الملفات التدريبية

داود، جمعة محمد، المرجع الجيوديسي و نظام إحداثيات جمهورية مصر العربية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Grids%7C_Datums%20of%20Egypt%20AR.pdf

داود، جمعة محمد، المرجع الجيوديسي و نظام إحداثيات المملكة العربية السعودية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Grids%7C_Datums%20of%20KSA%20AR.pdf

داود، جمعة، الجيويد وعلاقته بارتفاعات الجي بي إس:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20and%20the%20Geoid%20Ar.pdf

داود، جمعة، ٢٠٠٨، دقة أجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS المحمولة يدويا وتطبيقاتها في بناء نظم المعلومات الجغرافية GIS:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20Article%5E_GPS%20Handy%202008.pdf

داود ، جمعة ، إنشاء و استخدام مرجع جيوديسي جديد داخل برنامج GIS Arc لتغيير نظام إحداثيات طبقة:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/Create%20New%20Datum%20in%20ArcGIS.pdf

النعماني، ناصر، محاضرات في الجي بي إس – جامعة السلطان قابوس – سلطنة عمان
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Oman%20All.pdf

جلال، عبدون، شرح طريقة التحويل من مسقط عين العبد إلي مسقط WGS84 باستخدام برنامج Erdas:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/ERDAS%20Transformation.pdf

صالح، حسين عزيز، نظام التعيين الاحداثي العالمي (الجي بي إس):
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Saleh%20Ar.pdf

محمد، رمضان سالم، أساسيات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية GPS:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Basics%20Ramadan%20Ar.pdf

صبرى، محمد، نبذه عن أجهزة GPS والملحق بها برامج GIS والتصحيحات المتاحة بالمملكة العربية السعودية:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Trimble%20GPS%7C_GIS%20and%20Jedda%20Net.pdf

سلطان، لهون، إعدادات جهاز الجي بي أس ماركة Lieca موديل ١٢٠٠ سواء للرصد الثابت Static أو الرصد المتحرك Kinematic:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Learn%20GPS1200%20Setup%20Ar.pdf

المغربي، سعيد، مجموعة محاضرات فيديو في المساحة (في مجلد واحد):
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey_Vedio

العمري، عبد الله محمد سعيد، ٢٠٠٧م، الجاذبية الأرضية:
http://faculty.ksu.edu.sa/5713/coursesarabic/Ch_%207%20Gravity%20Exploration.pdf

ثانيا: المراجع الأجنبية

٤- الكتب المطبوعة

Nassar, M., 1987, Matrix treatment of adjustment computation in surveying, Ain Shams university, Cairo, Egypt.

Nassar, M., 1984, Geodetic position computations in two and three dimensions, Ain Shams university, Cairo, Egypt.

Nassar, M., and Abou-Beieh, O., 1994, Terrestrial and astronomic geodetic surveying, Ain Shams university, Cairo, Egypt.

Kuang, S., 1996, Geodetic network analysis and optimal design: Concepts and applications, Ann Arbor Press, Michigan, USA.

Torge, W., 1989, Gravimetry, Walter de Gruter, New York, USA.

Rapp, R., 1989, Geometric geodesy, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

Uotila, U., 1986, Adjustment computations, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

٥- الكتب الرقمية

Dawod, G., Some considerations in the adjustment of GPS baselines in the network mode, MSC Thesis, 1991:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20GPS%5E_MSC%201991.pdf

Dawod, G., A national gravity standardization network for Egypt, PhD Dissertation, 1998:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20ENGSN%5E_PhD%201998.pdf

Mohamed, H., Realization and redefinition of the Egyptian vertical datum based on recent heterogeneous observations, PhD Dissertation, 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Hoda%5E_Mohamed%20PhD%202005.pdf

Adjustment computations – Spatial data analysis:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Adjustment%20Computations.rar

Functional data analysis:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Functional%20Data%20Analysis.rar

Fundamental of GPS receivers – A software approach:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Fundamentals%20of%20GPS%20Receivers.rar

Manual of geo-spatial science and technology:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Geospatial%20Science%20and%20Technology.rar

Physical geodesy (by Helmut Moritz and Hofmann-Wellenhof):

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Physical%20Geodesy.rar

GPS and GIS – An introduction:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GPS%20and%20GIS.pdf

Principles of the gravitational method:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Gravitional%20Methods.pdf

Satellite geodesy:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Satellite%20Geodesy.rar

Understanding GPS – Principles and applications:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Understanding%20GPS.rar

GPS – Theory, Algorithms, and applications:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GPS%20Theory%20and%20Algorithms.pdf

Sea level rise – History and consequences:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Sea%20Level%20Rise.pdf

GPS, Inertial navigation, and integration:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GPS%20INS%20and%20Integrationn%202001.pdf

The role of VLBI in astrophysics, astronometry, and geodesy:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/VLBI%20in%20Geodesy.pdf

Wavelet in geodesy and geodynamics:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Wavelets%20in%20geodesy%20and%20geodynamics.pdf

Intelligent positioning: GIS-GPS unification:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GPS%7C_GIS%20Unification.pdf

Building Surveys:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Building%20Surveys.pdf

Plane and geodetic surveying:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Plane%20and%20Geodetic%20Surveys.pdf

Quantity surveying practice:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Quantity%20Surveying.pdf

Sneeuw, N., 2006, Physical Geodesy:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books_En/PHYSICAL%20GEODESY%202006.pdf

A regional analysis of GNSS levelling, MSC Thesis 2008:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/GNSS%7C_Levelling%20Analysis%20MSC%202008.pdf

Processing of high-rate GPS data for real-time applications, MSC Thesis 2008:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/High%7C_Rate%20RTK%20Process%20MSC2008.pdf

Surface Deformation Analysis of Dense GPS Networks Based on Intrinsic Geometry Deterministic and Stochastic Aspects, PhD Dissertation 2007:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Surface%20Deformation%20GPS%20PhD%202007.pdf

Setting–up of GPS Reference Stations and Investigating the Effects of Antenna Radome, MSC Thesis 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/GPS%20Reference%20Stations%20MSC2003.pdf

High Resolution Regional Geoid Computation in The World Geodetic Datum 2000, PhD Dissertation 1999:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Regional%20Geoid%20Computations%20PhD1999.pdf

Canada Guidlines for RTK_GPS Surveys:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Canada%20Guidelines_for_rtk_gps_surveys.pdf

Canada Positioning Standards 1996:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Canada_Positioning%20Standards%201996.pdf

New Zealand Geodetic Network Design Specifications 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Geod_Net%20Design%20Spec%202002.pdf

New Zealand Geodetic Survey Standards 2003:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Geodetic%20Survey%20Standards%202003.pdf

New Zealand Physical Network Design Specifications 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Phys_Net%20Design%20Spec%202003.pdf

New Zealand Specifications of First-order Levelling GPS 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20secification%20of%20First_order%20GPS%202003.pdf

US California Geodetic Network GPS Specifications 1996:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20California%20Horizontal%20Geodetic%20Net%20Specifications%201994.pdf

US FGCC Geodetic Survey Standards 1984:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20Geodetic%20Survey%201984.pdf

US FGCC GPS Standards 1989:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20GPS%20Standards%201989.pdf

US FGCC Levelling Specifications 1995:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20Levelling%201995.pdf

US Geospatial Positioning Standards 1998:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20Geospatial%20Positioning%20Standards%201998.pdf

US North Carolina GPS Standards 2006:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20North%20Calorina%20GPS%20Standards%202006.pdf

USA Army Geodetic Surveys 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Army%20Geod_Surveys%202002.pdf

USA Army Topographic Surveys 1994:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Army%20Topo%20Surveys%201994.pdf

US Army Cadastral GPS Standards 2001:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Cadastral%20GPS%20Survey%20Standards%202001.pdf

Canadian GPS Guide:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Canada_GPS_Guide.pdf

USA Army Corps of Engineers, GPS, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20by%20US%20Army%20Engineers%202003.pdf

USA Army Corps of Engineers, GPS ,2011
http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/EM_1110-1-1003_pfl

USA Army Corps of Engineers,, Survey Markers and Monumentations 2012
http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/EM_1110-1-1002.pdf

WGS84 Final Definition 200
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/WGS84%20Final%20Defintion%202000.pdf

USA Army Corps of Engineers, Structural Deformation Surveys 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/USA%20Army%20Structural%20Deformation%20Surveying%202002.pdf

USA Army Corps of Engineers, Geodetic and Topographic Surveys 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/USA%20Army%20Topo_Geodetic%20Surveys%202001.pdf

DMA: Geodesy for the layman 1983:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/DMA%20Geodesy%20for%20Layman%20Tutorial%201983.pdf

Dana Tutorial on Coordinate Systems:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dana%20Tutorial%20on%20Coordinate%20Systems.pdf

Dana Tutorial on Map Projection:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dana%20Tutorial%20on%20Map%20Projection.pdf

Dana Tutorial on Geodetic Datums:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dana%20Tutorial%20on%20Geodetic%20Datums.pdf

Engineering Surveying, 2006 (two parts):
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Engineering%20Surveying%206%202007.part1.rar

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Engineering%20Surveying%206%202007.part2.rar

Algebraic Geodesy and Geo-informatics:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Algebraic%20Geodesy%202010.pdf

Basics of Geomatics
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/Basics%20of%20Geomatics%202010.pdf

The contribution of the digital elevation models (DEM) and geographic information systems (GIS) in a watershed hydrologic research
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/DEM%20and%20GIS%204%20Watershed%20Modelling%202010.pdf

Ability of the EGM2008 high degree geopotential model to calculate a local geoid model in valencia, eastern Spain
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/EGM08%204%20geoid%20in%20Spain%202010.pdf

Combining EGM2008 and SRTM/DTM2006.0 residual terrain

model data to improve quasigeoid computations in mountainous areas devoid of gravity data
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/EGM08%20and%20DTM06%204%20Mountains%20Geoid%202010.pdf

The effect of EGM2008-based normal, normal-orthometric and Helmert orthometric height systems on the Australian levelling network
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/EGM08%20and%20H%5E_net%20in%20Australia%202010.pdf

Use of EGM08 model and shuttle radar topography mission (SRTM) data for geoid computation in the state of rio de janeiro, Brazil: a case study with voronoi/delaunay discretisations
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/EGM08%20Geoid%20of%20Brasil%202010.pdf

The AUSGeoid09 model of the Australian Height Datum
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/Geoid%20of%20Australia%202010.pdf

A strict formula for geoid-to-quasigeoid separation
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/Geoid%5E_Quasigeoid%20Formula%202010.pdf

Global sea-level rise and its relation to the terrestrial reference frame
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/Global%20Sea%20Rise%202010.pdf

The combination of GNSS-levelling data and gravimetric (quasi-) geoid heights in the presence of noise

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/GNSS%5E_Grav%5E_Geoid%20Combination%202010.pdf

A comparison of recent Earth gravitational models with emphasis on their contribution in refining the gravity and geoid at continental or regional scale http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/Recent%20GGMs%20comparison%202010.pdf

Regional and interannual variability in sea level over 2002–2009 based on satellite altimetry, Argo float data and GRACE ocean mass http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Papers2010/Sea%20Rise%20in%20France%202010.pdf

Geodesy: http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Geodesy%20TORGE%5E_1991.pdf

Geodesy and Gravity: http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Geodesy%5E_and%5E_Gravity%201996.pdf

Physical Geodesy: http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Physical%20Geodesy%20MORITZ%5E_2005.pdf

Mogren, S., 2008, Imaging the upper crust using decompensative isostatic gravity anomaly (case-study on the Arabian shield and cover rock http://faculty.ksu.edu.sa/21841/Abstracts/mogren_geomod2008.pdf

Mogren, S., 2008,A Preliminary attempt of a quasi-geoid for Saudi Arabia
http://www.fig.net/pub/fig2010/papers/fs01c%5Cfs01c_mogren_4623.pdf

Kown, J., 2000, Airborne vector gravimetry using GPS/INS, PhD Disseration, Geodetic science and surveying department, Ohio state university, Ohio, USA.
http://www.geology.osu.edu/~jekeli.1/OSUReports/reports/report_453.pdf

Hannah, J., 2001, Airborne gravimetry: A status report
http://nztides.com/sites/default/files/docs/miscellaneous/airborne-gravimetry.pdf

Dube, J., 2011, Measuring gravity from a moving aircraft
http://blogs.nasa.gov/cm/blog/icebridge/posts/post_1305726459991.html

Zilkoski, D., Carlson, E. and Smith, C., 2008, NGS Guidelines for Establishing GPS-Derived Orthometric Heights
http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/NGS592008069FINAL2.pdf

NGS Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS) GPS Networks, 2008:
http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/CORS_guidelines.pdf

NGS Guidelines for Real time GNSS,2011:
http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/NGS.RTN.Public.v2.0.pdf

DMA Geodesy for the Layman:
http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/Geodesy4Layman/geo4lay.pdf

NGS Basic Geodesy 1997:
http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/basgeo.pdf

NGS Geodesy Imagine the Possibilities 1999:
http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/GeodesyImagineThePossibilities.pdf

Kavouras, M., 1982, On the detection of outliers and the determination of reliability in geodetic networks, UNB technical report no. 87, University of New Brunswick, Canada:
http://gge.unb.ca/Pubs/TR87.pdf

٦- الملفات التدريبية

سعد، مني، مجموعة محاضرات فيديو في نظرية الأخطاء و ضبط الشبكات المساحية:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_1.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_2.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_3.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_4.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_5.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_6.wmv

سعد، عبد الله أحمد، محاضرات فيديو في إسقاط الخرائط:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and

%20GPS/MAP%20PROJECTION%20Dr%5E_A%5E_Saad.rar

عقيل، أحمد علوان، الدليل التشغيلي لجهاز جي بي أس ترمبل ٥٧٠٠ و برنامج التحليل TGO:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/arabic%20Trimble5700%20Ahmed%20Elwan.pdf

شرح استخدام Trimble SCS900 Site Controller Software الخاص بأجهزة الجي بي أس ترمبل:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/Arabic%20Trimble%20SCS%20900.pdf

الاستخدام السريع لبرنامج Trimble TerraSyne Professional الخاص بأجهزة الجي بي أس (ترمبل) المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/arabic%20trimble%20Terrasync%20for%20GIS%20applications.pdf

كتالوج الاستخدام لبرنامج Trimble Survey Controller الخاص بأجهزة التوتال استاشن ترمبل:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/arabic%20trimble%20Total%20Station%20with%20ACU.pdf

برنامجين تدريب (محاكاه) لجهاز التحكم الخاص بأجهزة الجي بي أس ترمبل موديل TSC v 12.44: الاول:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/Trimble%20TSCv12%5E_44%20Installation%20Emulator.exe

الثاني:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/Trimb

le%20TSCv12%5E_44%20Language%20Pack%20Emulator%20English.exe

Calais, E., 2009, GPS Geodesy, Tutorial materials for the class number EAS591, Purdue University, USA. http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/teaching/gps_geodesy/

Argentiero, P., Kaba, W., Garza-Robles, R., 1976, Strategies for estimating the marine geoid from altimeter data: http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19760022698_1976022698.pdf

٧- البحوث

Evaluation and adaptation of the EGM2008 geopotential model along the northern Nile valley, Egypt: Case study, 2010
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod_Papers/Dawod%20EGM20008_Egypt%202010.pdf

Towards the redefinition of the Egyptian geoid: Performance analysis of recent global geoid models and digital terrain models, 2008
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Analyiz%20Global%20Geoids%202008.pdf

Fitting gravimetric local and global quasi-geoids to GPS/levelling data: The role of geoid/quasi-geoid variations in Egypt, 2008
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Geoid%20QuasGeoid%202008.pdf

Estimation of Sea Level Rise Hazardous Impacts in Egypt within a GIS Environment, 2008
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a

nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GIS%20for%20MSL%202008.pdf

Assessment of a cost-effective GPS data processing alternative in Egypt utilizing international on-line processing services, 2007
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Assesment%20on%5E_line%20GPS%202007.pdf

Evaluation of River Nile high flood effects by Geographic Information System, 2007
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GIS%5E_Nile%20Floods%202007.pdf

New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, 2007
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20New%20GPS%20strategies%202007.pdf

Enhancing the integrity of the national geodetic data base in Egypt, 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Geo%5E_Net%20in%20Egypt%20FIG%202005.pdf

Developing a precise geoid model for hydrographic surveying of the River Nile, 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Nile%5E_Geoid%202005.pdf

Assessment and modelling of sea level rise and metrological changes in Egypt, 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a

nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Sea%20Level%20Rise%20in%20Egypt%202005.pdf

Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Top%5E_Surv%20GPS%202003.pdf

Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Standards%202003.pdf

Modernization plan of GPS in 21st century and its impacts on surveying applications, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Modernization%20of%20GPS%202003.pdf

Efficiency of new solutions for surveying and mapping problems in integrated water resources management, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Navig%20GPS%20Transf%202003.pdf

Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Nile%5E_GPS%5E_Network%202003.pdf

A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, 2002
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a

nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20SRI%5E_Geoid
%202002.pdf

The Establishment of the First Modern Sea Level Monitoring System in Egypt, 2002
http://cid-
0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a
nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20MSL%20System
%20Egypt%202002.pdf

The magnitude and significance of long-term sea level rise in Egypt from a geodetic perspective, 2001
http://cid-
0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a
nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20MSL%20Rise%2
0in%20Egypt%202001.pdf

Quality control measures for the Egyptian National Gravity Standardization Network, 2000
http://cid-
0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a
nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20QC%20of%20EN
GSN97%202000.pdf

Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, 2000
http://cid-
0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a
nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Transfo
rmation%202000.pdf

Efficiency of GPS techniques in national applications, 1999
http://cid-
0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a
nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20in%20N
at%5E_Project%201999.pdf

Increasing the reliability of GPS geodetic networks, 1995
http://cid-
0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20a
nd%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Outliers%20in%2
0GPS%201995.pdf

A method for detecting no-check observations in GPS networks, 1992
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20No%5E_Check%201992.pdf

On the use of pseudo-Kinematic GPS satellite positioning technology in surveying reclaimed lands in Egypt, 1992
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Pseudo%5E_Kin%20GPS%201992.pdf

الملاحق

ملحق رقم ١

معجم مصطلحات المساحة الجيوديسية

ترجمة لمعجم مصطلحات كتاب المساحة الجيوديسية لسلاح المهندسين بالجيش الأمريكي لعام ٢٠٠٢م

حرف A:

Accuracy
الدقة
درجة التوافق بين القيمة المحسوبة (المتوسط) و القيمة المتوقعة ، وضمنيا تعني الدقة أن القيمة المحسوبة ليس بها أخطاء أو انحرافات.

Adjustment
الضبط
عملية تقدير وتقليل الفروق بين الأرصاد ونموذج رياضي.

Altimeter
ألتيميتر
جهاز لقياس فروق الارتفاعات ، غالبا بالاعتماد علي قياسات الضغط الجوي.

Altitude
ارتفاع
الزاوية الراسية بين المستوي الأفقي للراصد وخط الاتجاه للهدف.

Angle of Depression
زاوية انخفاض
ارتفاع سالب

Angle of Elevation
زاوية ارتفاع
ارتفاع موجب

Angular Misclosure
خطا القفل الزاوي
الفرق بين المجموع الحقيقي و النظري لمجموعة من الزوايا.

Astronomical Latitude
دائرة العرض الفلكية
الزاوية بين خط الشاغول ومستوي الاستواء الفلكي. أيضا هي الزاوية بين مستوي الأفق ومحور دوران الأرض. تستخدم دائرة العرض الفلكية في تحديد المواقع علي سطح الأرض وتقاس من خط الاستواء الفلكي شمالا و جنوبا ، باستخدام الرصد علي الأجرام السماوية.

Astronomical Longitude
خط الطول الفلكي
زاوية اختيارية بين مستوي خط الطول الفلكي و خط طول فلكي اختياري. ويقاس باستخدام الرصد علي الأجرام السماوية.

Astronomical Triangle

المثلث الفلكي
مثلث كروي يتكون من أضلاع من الدوائر العظمي التي تصل القطب الفلكي والسمت وجسم فلكي. زوايا المثل الفلكي هي: عند القطب: زاوية الساعة ، عند الجسم الفلكي: الزاوية البرالالكسية ، عند السمت: زاوية الانحراف.

Atmospheric Refraction

الانكسار الجوي
انكسار الموجات الكهرومغناطيسية المارة بالغلاف الجوي ، ويؤدي لانحراف خط النظر عن مساره المستقيم. يسبب الانكسار الجوي تكور الأشعة عن مسارها الطبيعي ، و بصفة رئيسية فأن ظروف الحرارة والضغط الجوي هما الذين يحددان قيمة و اتجاه تكور خط النظر.

Azimuth

الانحراف
الاتجاه الأفقي لخط – مع اتجاه دوران عقرب الساعة – من مستوي أساسي غالبا يكون خط الطول. غالبا نسميه الانحراف الأمامي للتفرقة بينه و بين الانحراف الخلفي.

Azimuth Angle

زاوية الانحراف
زاوية – أقل من ١٨٠ درجة – بين مستوي خط الطول الفلكي والمستوي الراسي للهدف المرصود ، وتقاس بدءا من اتجاه القطب. في العمل الفلكي فأن زاوية الانحراف هي الزاوية الكروية عند السمت في المثلث الكروي (الذي يتكون من القطب و السمت و النجم). في العمل الجيوديسي فأن زاوية الانحراف هي الزاوية الأفقية بين القطب السماوي والهدف الأرضي المرصود.

Azimuth Closure

خطأ القفل الفلكي
الفرق – بالثواني – بين الانحراف الفلكي المرصود أو المضبوط و الانحراف الفلكي الحقيقي أو المعلوم.

<u>حرف B:</u>

Back Sight

اللقطة الخلفية
لقطة – أو توجيه – علي نقطة ترافرس أو نقطة مثلثات لكنها ليست اللقطة النهائية أو الخاتمة للترافرس. أيضا: القراءة علي قامة موضوعة علي نقطة معلومة المنسوب.

Barometric Levelling

الميزانية البارومترية
تحديد فروق المناسيب بقياس فروق الضغط الجوي التي يتم قياسها بجهاز البارومتر. إذا كانت احدي النقاط معلومة المنسوب فيمكن حساب مناسيب باقي النقاط في الميزانية البارومترية. عادة تستخدم الميزانية البارومترية في أعمال الاستكشاف [بسبب عدم دقتها].

Baseline
خط قاعدة
المتجه vector ثلاثي الأبعاد بين نقطتين بالنسبة لنظام إحداثيات معلومة [مثال: فرق س ، فرق ص ، فرق ع بين نقطتين] ، وهو الأساس في إنشاء نظام جديد.

Base net
شبكة الأساس
خط القاعدة الأساسي المستخدم في تكثيف نقاط مساحية لتكوين شبكة ثوابت أرضية.

Base Points
نقاط الأساس
النقاط الأولي في الترافرس التي سيتم استخدامها لإنشاء شبكة ثوابت أرضية.

Base Control
الثوابت الأساسية
نقاط الثوابت الأرضية المعلومة – الأفقية و الراسية – التي تستخدم في إنشاء شبكة أساس جديدة. ويتم تحديد إحداثياتها من أعمال المسح الحقلي ويتم تثبيت أماكنها في الطبيعة بثوابت ليمكن استخدامها لأية أعمال مساحية لاحقة.

Bearing
الانحراف المختصر
اتجاه خط بالنسبة لخط طول معين ، ويقاس بالدرجات و الدقائق و الثواني ، في ربع دائرة. تقاس الانحرافات المختصرة مع أو ضد اتجاه عقرب الساعة بدءا من اتجاه الشمال أو اتجاه الجنوب طبقا لموقع الخط المقاس في أي ربع من الدائرة.

Bench Mark
روبير
نقطة ثوابت أرضية معلومة المنسوب [تختصر باسم BM].

Best Fit
أحسن ملائمة
إعادة تمثيل مجموعة من النقاط بأسلوب – أو دالة – رياضي وهذا الأسلوب أو المنحني أو السطح الرياضي يقلل الانحرافات بأقل قيمة ممكنة.

Blunder
خطأ فادح
غلطة أو خطأ كبير.

Bureau International de l'Heure
المركز العالمي لحركة الأرض BIH
أنشأ المركز في عام ١٩١٩م في مرصد باريس بفرنسا ، وفي عام ١٩٨٨م وبقرار من الاتحاد العالمي للفلك تغير اسم المركز إلي مركز خدمات دوران الأرض International Earth

Rotation Service أو اختصارا IERS وهو المسئول عن قياسات و حسابات حركة دوران الأرض.

حرف C:

Cadastral Survey

المساحة التفصيلية

أعمال المساحة الخاصة بعلامات الحدود و تحديد مساحات و تقسيمات قطع الأراضي وملكياتها.

Calibration

معايرة

تحديد الأخطاء المنتظمة لجهاز عن طريق مقارنة قياساته مع قيمها الحقيقية. ويتم تحديد هذه القيم الحقيقية بجهاز آخر تمت معايرته سابقا أو بجهاز أكثر دقة.

Cartesian Coordinates

الإحداثيات الكارتيزية أو التربيعية

نظام يكون مركزه (نقطة الأصل) في مركز الأرض ويكون محورا x, y في مستوي خط الاستواء. غالبا يمر محوره x بخط طول جرينتش وينطبق محوره z مع محور دوران الأرض. وتكون المحاور الثلاثة متعامدة علي بعضها البعض.

Cartesian System

النظام الكارتيزي أو التربيعي

نظام إحداثيات يتكون من محاور متعامدة تتقاطع في نقطة (نقطة الأصل). تكون إحداثيات أي نقطة به هي المسافة العمودية بين هذه النقطة وكل مستوي يمر بأحد المحاور الثلاثة.

Celestial Equator

خط الاستواء الفلكي

دائرة عظمي - علي الكرة الفلكية – علي نقاط متساوية المسافات من القطبين الفلكيين. إذا مددنا مستوي خط الاستواء الأرضي فأنه سينطبق مع مستوي خط الاستواء الفلكي.

Celestial Pole

القطب الفلكي

نقطة مرجعية عند تقاطع الامتداد اللا نهائي لمحور دوران الأرض مع الكرة الفلكية.

Celestial Sphere

الكرة الفلكية

كره تخيلية لها عدد لانهائي من أنصاف الأقطار حيث تقع الأرض في مركزها ، وتدور من الشرق للغرب حول المحور التخيلي الممدود للأرض.

Central Meridian
خط الطول الفلكي
خط طول معين في مركز شبكة من خطوط الطول. يستخدم كمرجع أو أساس لإنشاء باقي الخطوط في هذه الشبكة ، كما أنه يمثل المحور y في حسابات نظم الإحداثيات التربيعية.

Chain
جنزير
يساوي ٦٦ قدم وكان يمثل – في الماضي - وحدة قياس قانونية لقياس الأطوال.

Chained Traverse
ترافرس الجنزير
الأرصاد و القياسات التي تتم باستخدام الجنزير.

Chart Datum
مرجع الخريطة البحرية
السطح المرجعي لقياسات الأعماق في الخرائط البحرية. وغالبا يناظر ارتفاع أقل مياه تحت منسوب متوسط سطح البحر ، ويرمز له بالرمز Zo

Chi-square Testing
اختبار مربع كاي
اختبار إحصائي يستخدم لتحديد شكل توزيع مجموعة من البيانات.

Chronometer
ساعة عالية الدقة
ساعة محمولة لها القدرة علي قياس الزمن بدقة عالية.

Circle Position
موضع الدائرة
قراءة أو موضع – محدد مسبقا – للدائرة الأفقية في جهاز الثيودليت ، وتستخدم لأرصاد النقطة الأساسية من مجموعة نقاط مطلوب رصدها.

Circuit Closure
خطأ قفل الدائرة
الفرق بين القيم المرصودة أو المضبوطة مع قيمها الحقيقية أو المعلنة.

Closed Traverse
الترافرس المغلق
ترافرس يبدأ و ينتهي عند نفس النقطة ، أو عند نقاط معلومة الإحداثيات.

Collimation
توجيه
توجيه الهدف المساحي أو الانتنا علي نقطة أرضية أو علي خط مرجعي.

Collimation Error
خطأ التوجيه
الزاوية بين خط النظر الحقيقي لجهاز بصري و بين خط التوجيه للراصد.

Confidence Level
مستوي الثقة
توزيع إحصائي – بالنسبة المئوية – بناءا علي الانحراف أو الخطأ المعياري الموجود في دالة التوزيع الطبيعي. يحدد مستوي الثقة بواسطة معامل يتم ضربه في قيمة الخطأ المعياري.

Conformal
الإسقاط الشكلي
نوع من أنواع نظم إسقاط الخرائط ، وهو يحافظ علي الشكل.

Contour
الكنتور
خط تخيلي علي الأرض يمر بنقاط لها نفس المنسوب أعلي أو أوطي من سطح مرجعي معين.

Control
التحكم
بيانات تستخدم في الجيوديسيا لتحديد مواقع و ارتفاعات النقاط علي سطح الأرض.

Control Densification
تكثيف التحكم
إضافة نقاط تحكم في منطقة أو شبكة جيوديسية.

Control Monuments
علامات ثوابت التحكم
نقاط أرضية – علامات مثبتة في الأرض – للثوابت الأفقية أو الروبيرات.

Control Point
نقطة تحكم
نقطة معلومة الإحداثيات مثبتة بعلامة أرضية.

Control Survey
مساحة التحكم أو الثوابت
نوع المساحة التي تنشئ نقاط التحكم أو الثوابت الأرضية

Control Traverse
ترافرس التحكم
ترافرس لإنشاء نقاط التحكم.

Conventional Terrestrial Pole (CTP)
القطب الأرضي التقليدي

نقطة القطب – التقليدية أو غير المتغيرة - التي يحددها المركز العالمي للأرض BIH.

Coordinate Transformation

تحويل الإحداثيات

عملية رياضية لحساب مجموعة أخري من الإحداثيات من خلال: دوران المحاور وتغيير معامل القياس ونقل نقطة الأصل لنظام إحداثيات.

Cross Sections

مقطع عرضي

خط مساحي عمودي علي اتجاه التوجيه.

Curvature

تكور

المعدل الذي ينحرف به منحني عن الخط المستقيم ، ويحدد بقيمة ت/س حيث ت = المماس للمنحني ، س = المسافة علي هذا المنحني.

حرف D:

Datum

المرجع (يسمي أيضا البيان أو الداتم)

أي قيمة أو مجموعة من القيم الحسابية أو الهندسية التي تخدم أساس مرجعي أو قاعدة لقيم أخري.

Declination

زاوية الميل

زاوية عند مركز الكرة الفلكية بين مستوي خط الاستواء الفلكي والخط من النقطة إلي مركز الجسم الفلكي (النجم).

Deflection of the Vertical

انحراف الراسي

الفرق الزاوي بين الامتداد الأعلى لخيط الشاغول و الاتجاه العمودي علي الاليبسويد. غالبا يتم التعبير عنها بدلالة مركبتين متعامدتين في اتجاهي خط الطول و الاتجاه الراسي الأساسي.

Deflection Traverse

ترافرس الانحراف

اتجاه كل خط مقاسا بزاوية من اتجاه الخط السابق له.

Deformation Monitoring

متابعة التشوهات

رصد حركة المنشئات الضخمة لوصف ونمذجة التغيرات [مثال: معدل هبوط سد أو مبني ضخم].

Departure
تغير أو انحراف
المسقط المتعامد لخط علي المحور الشرقي-الغربي لمرجعه. أو: الفرق بين المسافة علي خط الطول بين كلا نقطتي الخط.

Differential GPS
الجي بي إس التفاضلي
عملية قياس فروق الإحداثيات بين جهازين جي بي إس كلاهما يرصد نفس الأقمار الصناعية في نفس اللحظة. يمكن تنفيذه سواء في الرصد الثابت أو الرصد المتحرك.

Differential Levelling
الميزانية التفاضلية
عملية قياس فرق الارتفاعات بين نقطتين من خلال الميزانية الأرضية.

Direction
الاتجاه
الزاوية بين خط أو مستوي و خط أو مستوي مرجعي اختياري. في شبكات المثلثات مقايسة الزوايا: الزوايا الأفقية المقاسة بناءا علي مرجع معين وتسمي الاتجاهات الأفقية. الاتجاه له معنيين: أحدهما رقمي (القيمة) والآخر للدلالة علي الخط الذي نوجه إليه.

Direct Levelling
الميزانية المباشرة
تحديد فروق الارتفاعات من خلال مجموعة من الخطوط الأفقية القصيرة. تقاس المسافات الراسية لهذه الخطوط إلي العلامة الأرضية من خلال قياسات مباشرة علي قضيب مدرج بواسطة جهاز ميزان.

Distance Angle
الزاوية المسافية
زاوي في مثلث في الجهة الأخرى لضلع يستخدم قاعدة في حل هذا المثل ، أو الضلع الذي سيتم حساب طوله.

Dumpy Level
ميزان دامبي
التلسكوب أو المنظار المثبت علي قاعدة مستوية ويتم تحريكه من خلال بعض المفاتيح أو المسامير [نوع قديم من أجهزة الميزان].

<u>حرف E:</u>

Earth-Centered Ellipsoid
اليبسويد مثبت مركزيا
اليبسويد مركزه في مركز الأرض ومحوره الأصغر ينطبق مع محور دورانها.

Easting
الشرقيات
المسافة الشرقية (موجبة) أو الغربية (سالبه) من النقطة إلي خط طول مرجعي.

Eccentricity
اختلاف مركزي
النسبة في المسافة من مركز الاليبسويد إلي مسقطها علي محوره الأكبر.

Electronic Distance Measurement (EDM)
استخدام فرق الزمن أو فرق الطور لإشارة كهرومغناطيسية في حساب المسافة [أجهزة كانت قديما تثبت علي الثيودليت لقياس المسافة إلي العاكس من خلال إطلاق شعاع يرتد من العاكس إلي الجهاز مرة أخري ويمكن حساب المسافة من خلال قياس الزمن الذي أستغرقه الشعاع للوصول للعاكس و العودة مرة أخري ، وتم دمج جهاز EDM مع جهاز الثيودليت وإنتاج الأجهزة المعروفة حاليا بالمحطات الشاملة أو التوتال استاشن].

Elevation
الارتفاع
ارتفاع أي هدف عن مرجع معين.

Ellipsoid
اليبسويد أو شكل بيضاوي أو مجسم القطع الناقص
يتكون من دوران قطع ناقص ellipse حول محورة الأصغر. أشهر نماذج الاليبسويد المستخدمة حاليا هو WGS84

Ellipsoidal height
الارتفاع الاليبسويدي أو الارتفاع الجيوديسي
ارتفاع أي نقطة عن سطح الاليبسويد ، ويقاس علي الاتجاه العمودي علي سطح الاليبسويد.

Error
الخطأ
الفرق بين القيمة المقاسة لأي كمية و القيمة النظرية أو المحددة لهذه الكمية.

Error Ellipse
القطع الناقص للخطأ
منطقة لها شكل القطع الناقص حيث أبعادها تمثل قيمة توزيعية عند مستوي ثقة معين.

Error of Closure
خطأ القفل
الفرق بين القيمة المقاسة و القيمة المتوقعة لحلقة ، علي محيط هذا الشكل الهندسي [مثال: فرق مجموع زوايا مثلث عن قيمة ١٨٠ درجة وهي قيمة المجموع النظري المتوقع لزوايا المثلث].

حرف F:

Fixed Elevation
منسوب مثبت
قيمة منسوب تم تحديده من أرصاد المد و الجزر أو من ضبط شبكة روبيرات ، ويتم تثبيت هذه القيمة في أعمال الضبط اللاحقة.

Foresight
اللقطة الأمامية
رصده لنقطة الجهاز التالية. أو: القراءة علي قامة علي نقطة مطلوب تحديد منسوبها.

Frequency
التردد
عدد الدورات الكاملة في الثانية الواحدة الموجودة في حركة أي موجة أو شعاع.

حرف G:

Geodesic Line
الخط الجيوديسي
أقصر مسافة بين نقطتين علي أي سطح مرجعي معرف رياضيا [مثل المسافة علي الاليبسويد].

Geodesy
الجيوديسيا
تحديد شكل و حجم الأرض (المتغيرين مع الزمن) باستخدام قياسات مباشرة مثل شبكات المثلثات و الميزانيات و الجاذبية الأرضية.

Geodetic Control
الثوابت الجيوديسية
الثوابت الأرضية الأفقية و الراسية التي تم تحديدها بالأخذ في الاعتبار - أو في الحسابات - شكل و حجم الأرض.

Geodetic Coordinates
الإحداثيات الجيوديسية
الإحداثيات الزاوية – خط الطول و دائرة العرض – التي تم تحديدها بناءا علي اليبسويد مرجعي معين.

Geodetic Height
الارتفاع الجيوديسي
أنظر الارتفاع الاليبسويدي Ellipsoidal Height

Geodetic Latitude
خط الطول الجيوديسي
الزاوية التي يصنعها العمودي عند نقطة علي الاليبسويد المرجعي مع مستوي خط الاستواء.

Geodetic Leveling
الميزانية الجيوديسية
أرصاد فروق الارتفاعات باستخدام مجموعة متواصلة من خطوط النظر الأفقية القصيرة.

Geodetic Longitude
دائرة العرض الجيوديسية
الزاوية المحصورة – عند القطب – بين مستوي خط الطول الجيوديسي و مستوي خط الطول المرجعي (جرينتش).

Geodetic North
الشمال الجيوديسي
الاتجاه المماس لخط طول – متجهة ناحية القطب – والذي يحدد الشمال الفلكي. يعرف أيضا باسم الشمال الحقيقي.

Geoid
الجيويد
سطح متساوي الجهد لمجال الجاذبية الأرضية يقارب جدا شكل الأرض الحقيقي ويكاد يقترب من متوسط منسوب المياه في المحيطات وامتداده تحت اليابسة.

Gravimeter
الجرافيميتر
جهاز قياس التغير في الجاذبية الأرضية بين نقطتين.

Gravity
الجاذبية الأرضية
مجموع الجهد المتسارع لهدف بناءا علي قوة الجذب و قوة الطرد المركزي.

Greenwich Meridian
خط طول جرينتش
خط الطول الفلكي المار بمركز جهاز موجود في مرصد مدينة جرينتش بانجلترا. وبالاتفاق الدولي في عام ١٨٨٤م فأصبح خط طول جرينتش هو الخط رقم صفر لترقيم خطوط الطول في العالم.

Grid Azimuth
انحراف الشبكة
الزاوية – في مستوي الإسقاط – بين خط مستقيم و محور y (الذي يمثل خط الطول المركزي) في نظام إحداثيات تربيعي.

Grid Inverse
مقلوب الشبكة
حساب الأطوال و الانحرافات بناءا علي معرفة قيم الإحداثيات علي الشبكة.

Grid Meridian
خط الطول الشبكي
خط يوازي الخط الذي يمثل خط الطول المركزي (محور y) لشبكة علي الخريطة.

Gyrotheodolite
الجيرو ثيودليت
جهاز جيروسكوبي يستخدم لقياس الانحرافات ويتم توصيله أو تثبيته علي جهاز الثيودليت.

حرف H:

Horizontal Control
التحكم – أو الثوابت – الأفقية
تحديد الإحداثيات الأفقية اعتمادا علي خطوط الطول و دوائر العرض أو أي خطوط مرجعية.

Hour Circle
دائرة الساعة
أي دائرة عظمي علي الكرة الفلكية ويكون مستواها عمودي علي مستوي خط الاستواء الفلكي.

حرف I:

Index Error
الخطأ الفهرسي
خطأ منتظم يحدث في علامة الفهرس أو علامة الصفر لأحد الأجهزة الذي لـه مقياس بحيث أن الجهاز يعطي قراءة غير صفرية عندما يكون مفترضا أن يعطي القراءة صفر. أيضا: هو خطأ في المسافة بين أسفل القامة والمركز النظري (الصفر) للمقياس.

Indirect Leveling
الميزانية غير المباشرة
تحديد فروق الارتفاعات من خلال الزوايا الراسية والمسافات الأفقية.

Interior Angle
الزاوية غير المباشرة
زاوية بين ضلعين متجاورين في شكل مغلق وتقع داخل هذا الشكل ، أي أن الزوايا الداخلية الثلاثة لمثلث هي زوايا عير مباشرة.

International Foot
القدم العالمي
يعرف بنسبة ٣٠.٤٨؟١٠٠ من المتر.

International System of Units (SI)
نظام الوحدات العالمي
نظام وحدات تم قبوله عالميا في عام ١٩٦٠م كتعديل لنظام الوحدات المتري.

Interpolation Method
طريقة الاستيفاء
تحديد قيمة تقع بين قيمتين (أو أكثر) معلومتين باستخدام معدل التغير سواء كان معلوما أو مفروضا.

Intersection
التقاطع الأمامي
تحديد الموقع الأفقي لنقطة من خلال الرصد من نقطتين أو أكثر لهم مواقع معلومة. أي بقياس الاتجاهات أو المسافات التي تتقاطع عند النقطة المطلوب تحديدها.

Intervisibility
تبادل الرؤية
عندما تكون محطتين متبادلتي الرؤية في شبكة مساحية [أي أن كل نقطة تري النقطة الأخرى].

Invar
أنفار
سبيكة من الحديد تحتوي النيكل وأيضا الكروميوم ، لزيادة صلابتها ، ولها معامل تمدد حراري منخفض جدا (حوالي ٢٥/١ من معامل تمدد الحديد).

حرف L:

Laplace Azimuth
انحراف لابلاس
انحراف جيوديسي لخط يتم حسابه بناءا علي قياسات فلكية باستخدام معادلة لابلاس.

Laplace Equation
معادلة لابلاس
تحدد العلاقة بين الانحراف الفلكي و الانحراف الجيوديسي بدلالة دائرة العرض الفلكية ودائرة العرض الجيوديسية وخط الطول الجيوديسي.

Laplace Station
نقطة لابلاس
نقطة مثلثات – أو ترافرسات – يتم عندها قياس انحراف لابلاس ، أي عندها يتم رصد كلا من خط الطول الفلكي والانحراف الفلكي.

Least Count
أقل قراءة
أقل أو أوضح قراءة يمكن قياسها مباشرة – بدون أي تقريب – علي جهاز ميكرومتر أو أي تدريج.

Least Squares Adjustment
ضبط أقل المربعات

ضبط قيم الزوايا أو المسافات المقاسة في ترافرس – كمثال – بتطبيق شرط أن مجموع مربعات المتبقيات – أو الفروق – سيكون أقل ما يمكن [أشهر الطرق الرياضية و الإحصائية لضبط الأرصاد في مجال الهندسة المساحية حتى الآن].

Length of Closure

طول القفل
المسافة التي لها المعادلة التالية:
= الجذر التربيعي (مربع خطأ القفل في خطوط الطول + مربع خطأ القفل في دوائر العرض)

Level

ميزان
أي جهاز حساس لاتجاه الجاذبية الأرضية ويستخدم كمؤشر للاتجاه العمودي علي اتجاه الجاذبية الأرضية عند نقطة معينة.

Level Datum

مرجع المنسوب
سطح مستوي يستخدم كمرجع للمناسيب ، مرجع المنسوب المعتمد عالميا – بدرجة كبيرة – هو متوسط منسوب سطح البحر. لمساحة محلية يمكن اختيار أي مرجع اختياري للمنسوب [بلغة المساحة: صفر مخصوص ، عندما نكون في منطقة لا تتوافر بها روبيرات فنختار أي علامة في المشروع ونعتمدها كأساس مؤقت لقياس المناسيب في هذا المشروع].

Level Net

شبكة ميزانية
مجموعة من خطوط الميزانية المتصلة والتي تكون معا حلقات تغطي منطقة معينة.

Line of Sight

خط النظر
الخط الممتد من جهاز ويتم رؤية الأهداف عليه (أي علي الخط) من خلال التلسكوب أو المنظار.

Local Coordinate System

نظام إحداثيات محلي
عندما تكون نقطة الأصل – المركز – لها قيم إحداثيات اختيارية ، ويتم التعامل بهذا النظام داخل هذه المنطقة فقط.

Local Datum

مرجع محلي
يحدد نظام إحداثيات لمنطقة معينة غالبا صغيرة الامتداد.

Loop Traverse

حلقة ترافرس
ترافرس مغلق يبدأ و ينتهي عند نفس النقطة.

حرف M:

Magnetic Bearing
الانحراف المغناطيسي
الزاوية مع اتجاه الشمال المغناطيسي.

Magnetic Meridian
خط الطول المغناطيسي
المستوي الراسي – عند أي نقطة - المار بالقطب المغناطيسي واتجاه المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي للأرض.

Major Semi-Axis
نصف المحور الأكبر
الخط الواصل بين مركز الاليبسويد وأقصي امتداد لقطره الأكبر ، ويستخدم نفس المصطلح ليعبر عن طول هذا الخط.

Map
تمثيل – بطريقة متفق عليها - غالبا علي مستوي مسطح وبمقياس رسم معين للظواهر (البشرية أو الطبيعية أو كلاهما) لجزء من – أو كل - سطح الأرض ، باستخدام رموز و علامات ومع وجود مؤشر للاتجاهات.

Map Accuracy
دقة الخريطة
دقة التمثيل للخريطة. هناك ٣ أنواع معروفة من الأخطاء: (أ) أخطاء التمثيل وسببها الرموز المستخدمة ، (ب) أخطاء التعريف وسببها تمثيل معلم غير موجود أو عدم تمثيل معلم موجود أصلا ، (ج) أخطاء المواقع وسببها توقيع معلم في غير موقعه الصحيح. غالبا يتم تقسم أخطاء المواقع إلي نوعين: خطأ الموقع الأفقي ، وخطأ الارتفاع.

Map Scale
مقياس رسم الخريطة
النسبة بين مسافة علي الخريطة والمسافة المناظرة لها علي الأرض.

Mean Sea Level Datum
مرجع متوسط منسوب سطح البحر
مرجع أساسي متفق عليه للمناسيب. غالبا يتم تحديده بناءا علي قياسات المد و الجزر لعدة سنوات [مثال: المرجع المصري لعام ١٩٠٦م تم بناء علي أرصاد المد و الجزر عند محطة ميناء الإسكندرية لفترة ١٨٩٨-١٩٠٦م وتم حساب المتوسط لكل هذه الأرصاد وتحديد علامة أرضية ثابتة لتدل علي المنسوب = صفر ومنها بدأ إنشاء شبكات الروبيرات أو الميزانيات لكل مصر].

Metric Unit
النظام المتري للوحدات
تم اشتقاقه من النظام الدولي للوحدات SI

Micrometer
ميكرومتر
عامة: هو أي جهاز يقيس المسافات الصغيرة بدقة عالية. في الجيوديسيا: هو جهاز يتم تثبيته مع المنظار أو التلسكوب ليعطي تفاصيل دقيقة جدا من قراءة التدريج الأصلي [مثال: تدريج الدائرة الأفقية للثيودليت مقسم إلي درجات و دقائق ، فيتم تركيب ميكرومتر يمكنه تقسيم الدرجة الواحدة إلي ثواني بحيث تصبح قراءة الثيودليت درجة-دقيقة-ثانية].

Minor Semi-Axis
نصف المحور الأصغر
الخط الواصل بين مركز الاليبسويد وأقصي امتداد لقطره الأصغر ، ويستخدم نفس المصطلح ليعبر عن طول هذا الخط.

Misclosure
خطأ القفل
الفرق بين القيمة المحسوبة و القيمة المقاسة.

Monument
علامة أرضية
هدف فيزيقي أو طبيعي (يتم بناؤه) ليدل علي موقع النقطة المساحية.

حرف N:

Nadir
النذير
نقطة تقع مباشرة أسفل الجهاز وتكون معاكسة تماما لنقطة السمت.

Network
شبكة
نظام لمجموعة متصلة من النقط المساحية.

Non-SI units
النظام غير العالمي للوحدات
نظام وحدات غير تلك الوحدات التي تم اعتمادها للنظام العالمي المتفق عليه للوحدات المعروف باسم نظام SI.

Northing
الشماليات
مسافة من النقطة - في نظام إحداثيات شبكي أو تربيعي لخريطة – من الخط أو المحور الشرق-غرب المار بنقطة الأصل.

حرف O:

Open Traverse
ترافرس مفتوح
ترافرس يبدأ من نقطة معلومة لكن لا ينتهي عندها.

Optical Micrometer
ميكرومتر بصري
يتكون من منشور أو عدسة موضوعة في مسار خط النظر الداخل للتلسكوب ويدور – بواسطة مسامير – حول المحور الأفقي عموديا علي المحور البصري للتلسكوب. غالبا يوضع أمام العدسة الشيئية للتلسكوب ، ويمكن أيضا وضعه خلفها مباشرة.

Optical Plummet
التسامت البصري
تلسكوب صغير له انحناء ٩٠ درجة في محوره البصري ويلصق بجهاز بحيث أن خط النظر يمر أفقيا من العدسة العينية إلي نقطة تقع علي المحور الراسي للجهاز ومنها يسير راسيا لأسفل. في الأجهزة المساحية: ينظر الراصد من التسامت البصري ليري موقع العلامة المساحية علي الأرض لكي يستطيع عمل تسامت للجهاز فوق النقطة مباشرة.

Order of Accuracy
درجة الدقة
نظام مواصفات يحدد بصفة عامة دقة القياسات لنوع معين من العمل المساحي ، مقسم عامة إلي ٤ درجات: أولي ، ثانية ، ثالثة ، رابعة.

Origin
نقطة الأصل أو المركز
نقطة في نظام إحداثيات لها قيمة محددة لإحداثياتها (وليست مقاسه) وغالبا تكون إحداثياتها هي صفر ، صفر في نظام إحداثيات ثنائي الأبعاد أو صفر ، صفر ، صفر في نظام إحداثيات فراغي.

Orthometric Height
الارتفاع الأرثومتري
ارتفاع النقطة عن سطح الجيويد ، يرمز له عامة بالرمز H

حرف P:

Parallax
البرالاكس
إزاحة ظاهرية لموقع جسم – مقارنة لنظام أو نقطة مرجعية – يحدث بسبب إزاحة نقطة الرصد.

Photogrammetry
المساحة التصويرية أو الجوية
استنباط الأبعاد الطبيعية لأهداف من خلال قياسات علي صورة لهذه الأهداف.

Picture Point
نقطة الصورة
معلم ارضي يسهل تحديده علي صورة جوية ومعلوم أو مقاس إحداثياتها الأفقية و الراسية من خلال العمل المساحي الأرضي.

Planetable
بلانشيطة
جهاز مساحي [قديم ولم يعد مستخدما بكثرة الآن] لتوقيع خطوط مساحية مباشرة من الأرصاد ، ويتكون أساسا من لوحة رسم - مثبته علي حامل ثلاثي – وميزان مصمم خصيصا لها.

Plumb Line
اتجاه خيط الشاغول
الاتجاه العمودي علي مجال الجاذبية الأرضية ، ويكون منحنيا بصفة دائمة و ليس خط مستقيم.

Positional Error
خطأ الموقع
القيمة التي لا يتوافق بها الموقع المرسوم لمعلم عن موقعه الحقيقي.

Precision
الصحة
الفرق بين القيمة المقاسة و متوسطها [للأسف الشديد فأن الكثير من المراجع العربية تستخدم مصطلح "الدقة" لكلا الكلمتين: Precision and Accuracy بينما الفرق في مفهومهما كبير جدا!! ، أنظر تعريف **Accuracy**]

Prime Meridian
خط الطول الأساسي
خط الطول صفر ، المستخدم كأصل قياس خطوط الطول (بالاتفاق الدولي هو خط طول جرينتش).

Prime Vertical
الاتجاه الرأسي الأساسي
الدائرة الراسية المارة بالنقط الشرقية و الغربية لمستوي الأفق ، يمكن أن يكون مغناطيسيا أو بالبوصلة أو من شبكة بناء علي نوع النقاط المعرفة له.

Project Datum
مرجع المشروع
مرجع مستخدم لمشروع معين.

Projection
الإسقاط أو إسقاط الخرائط
مجموعة من المعادلات التي تحدد العلاقة بين نقطة علي سطح (الأرض) والنقطة المناظرة لها علي سطح آخر (الخريطة).

حرف R:

Random Error
الخطأ العشوائي
الانحراف – ذو التوزيع العشوائي – عن القيمة المتوسطة.

Reciprocal Leveling
الميزانية التبادلية
قياس الزوايا الراسية - أو القراءات علي القامة – من موقعين لجهازين بهدف تفادي تأثير الانكسار الجوي.

Rectangular Coordinate Systems
نظم الإحداثيات المستطيلة
إحداثيات علي أي نظام له محورين متعامدين علي بعضهما البعض.

Redundant Measurements
قياسات فائضة
أخذ قياسات أكثر من الحد الأدنى المطلوب للحل المنفرد (مثال: لحل زوايا مثلث مطلوب قياس زاويتين فقط – يمكن حساب الزاوية الثالثة – فإذا رصدنا قيمة الزاوية الثالثة هذه فأن الرصدة تسمي رصده فائضة ، لكن القياسات الفائضة مهمة جدا في العمل المساحي لأنها تساعد علي اكتشاف الأخطاء].

Reference Point
نقطة مرجعية
تستخدم كأساس يتم منه أخذ القياسات أو النقطة التي تبني عليها جميع القياسات.

Refraction
الانعكاس الجوي
انحناء مسار الأشعة بتأثير مواد الطبقات التي تمر بها.

Relative Accuracy
الدقة النسبية
حجم القطع الناقص النسبي الناتج عن مقدار الثقة بين نقطتين. أيضا: كمية تعبر عن تأثير الأخطاء العشوائية علي موقع نقطة نسبة لموقع نقطة أخري.

Resection
التقاطع العكسي
تحديد موقع نقطة عن طريق مد الخطوط منها إلي نقطتين – أو أكثر – معلومين الإحداثيات.

حرف S:

Sexagesimal System
النظام الستيني
مصطلح للدلالة عن زيادة بقيمة ٦٠. النظام الستيني للزوايا: الدائرة مكونة من ٣٦٠ درجة ، الدرجة مكونة من ٦٠ دقيقة ، الدقيقة مكونة من ٦٠ ثانية.

Set-up
احتلال
الوضع الذي به جهاز مساحي موجود أعلي علامة مساحية أرضية وبدء الأرصاد [بلغة المساحة: نحتل النقطة = ننصب الجهاز متسامتا فوق هذه النقطة]

Spheroid
الاسفرويد
كلمة بديلة لكلمة الاليبسويد

Spirit Level
ميزان التسوية
أنبوبة مغلقة من الزجاج في مركزها سائل خفيف اللزوجة.

Stadia Constant
ثابت الاستاديا
مجموع كلا من (أ) البعد البؤري للتلسكوب ، (ب) المسافة من المحور الراسي للجهاز إلي مركز العدسة الشيئية.

Stadia Traverse
ترافرس الاستاديا
مسافات يتم حسابها من خلال قضيب الاستاديا ، يناسب العمل في منطقة متوسطة التضاريس وإذا تم رصده بعناية فيمكن منه حساب المناسيب بدقة معقولة.

Standard Error
الخطأ القياسي
الانحراف القياسي للأخطاء الموجودة في القياسات الطبيعية أو الفيزيقية لكمية مجهولة. أو: التقدير الإحصائي لكمية مجهولة أو متغير عشوائي.

Systematic Error
الخطأ المنتظم
أخطاء تؤثر علي الانحراف عن المتوسط ، وسببها وجود تأثيرات غير نموذجية – أو لم يتم نمذجتها – في القياسات.

Strength of Figure
قوة الشكل
رقم يعبر عن صحة تحديد المواقع بالنظر إلي الوضع الهندسي للأرصاد مع بعضها البعض.

Subtense Bar
قضيب سابستانس
قضيب لـه علامتين عند كلا نهايتيه والمسافة بينهما معلومة ، و يستخدم في حساب المسافة الأفقية من نقطة الرصد عن طريق قياس الزاوية المحصورة بين الراصد و كلتا العلامتين [لم يعد مستخدما في المساحة الآن].

حرف T:

Topographic Map
خريطة طبوغرافية
خريطة توضح المواقع الأفقية و الراسية للمعالم الطبيعية و البشرية.

Transformation
تحويل الإحداثيات
تحويل الإحداثيات من نظام إحداثيات لنظام آخر.

Transverse Mercator Projection
إسقاط ميريكاتور المستعرض
نظام إسقاط الخرائط للعالم الفرنسي ميريكاتور باستخدام اسطوانة يكون محورها في مستوي خط الاستواء.

Traverse
ترافرس
مجموعة متتالية من النقاط يتم من خلالها القياس المساحي.

Triangulation
شبكة مثلثات
تحديد الإحداثيات أو المواقع في شبكة من خلال قياس الزوايا الأفقية بين النقاط.

Tribrach
تربراخ
القاعدة ثلاثية الأذرع في جهاز مساحي والتي بها مسامير ضبط أفقية الجهاز ، وتسمي أيضا قاعدة التسوية.

Trigonometric heighting
تحديد الارتفاعات المثلثية
تحديد فروق الارتفاعات من خلال قياس الزوايا الراسية و المسافات.

Trilateration
شبكة المثلثات مقاسة الأضلاع
تحديد الإحداثيات أو المواقع في شبكة من خلال قياس المسافات بين النقاط [لم تعد مستخدمة كثيرا في العمل المساحي الآن].

حرف V:

Variance-Covariance Matrix
مصفوفة الاختلافات-الارتباطات
مصفوفة يكون عناصر قطرها الرئيسي ما يسمي الاختلافات بين المتغيرات بينما باقي العناصر غير القطرية تسمي الارتباطات [تستخدم في حسابات ضبط الشبكات].

Vertical Angle
الزاوية الراسية
زاوية في المستوي الراسي – سواء مرتفعة أو منخفضة – عن مستوي الأفق.

Vertical Circle
الدائرة الراسية
دائرة مدرجة لجهاز مساحي تستخدم في قياس الزوايا الراسية.

Vertical Datum
المرجع الراسي
مستوي يستخدم كمرجع لقياس المناسيب أو الارتفاعات.

حرف W:

World Geodetic System of 1984
النظام الجيوديسي العالمي ١٩٨٤
معتمد كمرجع جيوديسي لقياسات الجي بي إس وهو مبني علي الاليبسويد الجيوديسي العالمي ١٩٨٤، ويرمز له اختصارا WGS84

حرف Z:

Zenith
السمت
نقطة أعلي الجهاز حيث يتقاطع امتداد اتجاه الشاغول مع الكرة الفراغية.

Zenith Angle
زاوية السمت
تقاس موجبة لأسفل ، من سمت الراصد إلي الهدف المرصود.

Zenith Distance
مسافة السمت
المكمل للارتفاع ، المسافة الزاوية من السمت إلي الجسم السماوي (النجم) مقاسة علي دائرة راسية.

ملحق رقم ٢

معجم مصطلحات الجي بي إس

ترجمة لمعجم مصطلحات كتاب الجي بي أس لسلاح المهندسين بالجيش الأمريكي لعام ٢٠٠٣م

2D Operation Mode
وضع التشغيل ثنائي الأبعاد
استعمال جهاز الجي بي إس في وضع يسمح فقط بتحديد الإحداثيات ثنائية الأبعاد (أي الإحداثيات الأفقية فقط) والذي يتطلب رصد علي الأقل ثلاثة أقمار صناعية.

3D Operation Mode
وضع التشغيل ثلاثي الأبعاد
استعمال جهاز الجي بي إس في وضع يسمح بتحديد الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (أي الإحداثيات الأفقية وأيضا الاحداثي الرأسي) والذي يتطلب رصد علي الأقل أربعة أقمار صناعية.

Absolute Positioning
التحديد المطلق للموقع أو الإحداثيات
قدرة جهاز الجي بي إس علي حساب قيم إحداثيات الموقع دون الحاجة لجهاز آخر كمرجع. ويسمي أيضا تحديد موقع نقطة Point Positioning

Accuracy
الدقة
مقياس لمدي قرب إحداثيات الجي بي إس المحسوبة إلي قيمة الإحداثيات الحقيقية لهذا الموقع.

Acquisition Time
زمن الاكتساب
الزمن الذي يستغرقه جهاز الجي بي إس حتى يتعامل مع إشارات الأقمار الصناعية و يحدد الموقع أو يحس إحداثياته.

Altimeter
مقياس الارتفاع
جهاز يسمح بقياس الارتفاع من خلال قياس الضغط الجوي [بعض أجهزة الجي بي إس وخاصة الملاحية يوجد داخلها هذا الجهاز].

Ambiguity
الغموض
العدد المجهول للدورات الكاملة للموجة الحاملة للإشارة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال. أيضا يسمي: غموض الدورة Cycle Ambiguity

Anywhere Fix
الحساب في أي مكان
القدرة المطلقة لجهاز الاستقبال لحساب الإحداثيات دون إعطاؤه مسبقا الموقع التقريبي أو الزمن.

Antenna
أنتنا
الجزء في جهاز استقبال الجي بي إس المختص باستقبال إشارات الأقمار الصناعية وتحويلها إلي المعالج الرياضي داخل الجهاز الذي يقوم بإجراء الحسابات الرياضية اللازمة لتحديد الموقع.

Anti-spoofing (A/S)
ضد التجسس
تقنية تشفير مطورة بواسطة وزارة الدفاع الأمريكية بغرض عدم السماح للمستخدمين المدنيين باستقبال أو التعامل مع الشفرة الدقيقة (المعروفة باسم الشفرة P) للأقمار الصناعية.

Almanac Data
بيانات التقويم
بيانات يبثها كل قمر صناعي عن مداره و حالته وأيضا عن مدارات باقي الأقمار الصناعية في منظومة الجي بي إس. تسمح بيانات التقويم لجهاز الاستقبال من التعامل مع الأقمار الصناعية بسرعة بمجرد أن يتم تشغيل الجهاز.

Apogee
نقطة الأوج
نقطة في مدار القمر الصناعي يبلغ عندها أقصي بعد أو مسافة من الأرض.

Atomic Clock
ساعة ذرية
نوع الساعة الموجودة في أقمار الجي بي إس، وهي ساعة دقيقة جدا جدا وهي أما ساعة من نوع السيزيوم أو ساعة من نوع الرابيديوم.

Auto-correlation
الترابط - أو الارتباط - الآلي
بالقياس إلي شفرة معينة ، فهو رسم بياني أو توقيع لحاصل ضرب تسلسل الضوضاء لإشارة القمر الصناعي في نسخة مؤخرة delayed copy منه.

Azimuth
انحراف
الاتجاه – أو الزاوية - الأفقي الذي يصنعه الخط الواصل بين نقطتين علي سطح الأرض مع اتجاه الشمال (أو الجنوب) مقاسا في اتجاه دوران عقرب الساعة. وله أسم آخر هو Bearing

Bandwidth
عرض التردد
مقياس لعرض تردد إشارة معينة ، يقاس بوحدات الهرتز.

Baseline
خط القاعدة
المتجه vector ثلاثي الأبعاد (فرق س ، فرق ص ، فرق ع) بين أي نقطتين الناتج أو الذي تم حسابه من خلال بيانات الجي بي إس.

Base Station
نقطة أساسية
وتسمي أيضا نقطة مرجعية Reference Station ، وهي نقطة ثوابت أرضية مساحية معلومة الإحداثيات. تكون فائدتها الأساسية أن جهاز جي بي إس يقف عليها مما يسمح له بتحديد قيمة خطأ الإحداثيات للأقمار الصناعية في كل لحظة من لحظات الرصد (بمقارنة الإحداثيات المحسوبة من قياسات الجي بي إس بالإحداثيات المعلومة لهذه النقطة) ومن ثم يمكن استخدام هذا التصحيح في تحديد قيمة خطأ الإحداثيات لجهاز جي بي إس يرصد (في نفس فترة الرصد) نقطة أو نقاط أخري غير معلوم إحداثياتها.

Beat Frequency
التردد الغالب
واحد من ترددين إضافيين نحصل عليهما عند خلط إشارتين من ترددين مختلفين ، وهو يساوي مجموع أو الفرق بين الترددين الأصليين.

Binary Pulse Code Modulation
النبض الرقمي لتعديل الشفرة
هو تعديل ثنائي الحالة للنبض باستخدام سلسلة من الأرقام أو الشفرات ، و يتم تمثيل التعديل باستخدام إما ١ أو صفر ولكلا منهما معني محدد.

Binary Bi-phase Modulation
التعديل الرقمي للطور
تغير طور الإشارة علي تردد ثابت بدرجة إما تساوي صفر أو تساوي ١٨٠ ، ويتم تمثيل التغير بقيم صفر أو ١ علي الترتيب.

Binary Code
شفرة رقمية
نظام يستخدم في الاتصالات حيث يتم تحيد معني محدد لسلاسل رقمية تتكون من مجموعة من العدد صفر أو مجموعة من العدد ١.

Broadcast Ephemeris (or Ephemeredes)
البيانات المذاعة أو المبثوثة
البيانات (المتعلقة بالمدار) التي تبثها أقمار الجي بي إس.

C/A Code
شفرة الاكتساب الخشن C/A
الشفرة القياسية المسماه الاكتساب الخشن Course Acquisition المعروفة اختصارا باسم C/A وتعرف أيضا باسم الشفرة القياسية وأيضا باسم الشفرة المدنية (لأنها هي الشفرة المتاحة لمستخدمي أو أجهزة الجي بي إس للمدنيين). تحتوي هذه الشفرة علي بيانات (مدارات) أقمار

الجـي بـي إس علـي تـردد يـساوي ١٠٢٣ ولهـا معـدل chipping rate يـساوي ١.٠٢٣ ميجاهرتز وبتالي فأن فترتها الزمنية تساوي ١ مللي ثانية (أي ١ من ألف من الثانية).

Carrier
الموجة الحاملة
موجـة راديـو عاليـة التـردد لهـا علـي الأقـل خاصـية واحـدة (تـردد frequency أو اتـساع amplitude أو طور phase) ويمكن أن تتغير بتعديل modulation. عامة يكون طول الموجة الحاملة أقصر من طول الشفرات codes.

Carrier Beat Phase
الطور المعدل للموجة الحاملة
الفرق في الطور phase بين الموجة الحاملة لإشارة القمر الصناعي والموجة المماثلة التي يتم توليدها داخل جهاز الاستقبال.

Carrier Phase
طور الموجة الحاملة
قياس الطور للموجة الحاملة ، وغالبا يتم تحويل قيمة النسبة المئوية إلي ملليمترات.

Carrier Frequency
التردد الحامل
تردد الناتج – الأساسي غير المعدل – الصادر من جهاز راديو.

Cartesian/Geo-centric Coordinates
الإحداثيات الكارتيزية أو المركزية
نظـام لتحديـد الإحـداثيات المتعامـدة ، يعتمـد علـي: مركـز النظـام هـو مركـز الأرض ، المحـور السيني x والمحور الصادي y يكونا في مستوي دائرة الاستواء بحيث أن المحور السيني يمر بخط طول جرينتش ، المحور الرٍاسي z ينطبق مع محور دوران الأرض.

Channel
قناة
تتكون القنـاة فـي جهـاز الجـي بـي إس مـن المكـون المـادي hardware والبـرامج software التي تسمح باستقبال إشارة قمر صناعي واحد علي أحد ترددي الموجـة الحاملـة (أي أن جهـاز الجي بي إس يحتوي عدد من القنوات بعدد الأقمـار الصناعية التي يمكنـه استقبال بياناتهـا فـي نفس اللحظة).

Chip
رقاقة
أ- أقل زمن استقبال لمعلومة bit (إما صفر أو ١) في النظام الرقمي تكون في تردد معين.
أو
ب- رقاقة مربعة صغيرة ورقيقة جدا والتي عليها يتم تكوين دائرة كهربائية.
Clock Bias
خطأ الساعة
الفرق بين الزمن الذي تعطيه الساعة و الزمن الحقيقي.

Code
شفرة
نظام لتمثيل المعلومات مع قواعد لاستعماله.

Code Receiver
مستقبل الشفرة
جهاز استقبال جي بي إس يعتمد علي استقبال قياسات الشفرة (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية P) كما أنه يستخدم البيانات – مدارات الأقمار الصناعية - المذاعة broadcast ephemeris

Codeless Receiver
مستقبل غير شفري
جهاز استقبال جي بي إس لا يعتمد علي الشفرة ، كم أنه لا يسجل البيانات المذاعة. لذلك فقبل حساب خط القاعدة يجب الحصول علي ملف للبيانات (مدارات الأقمار الصناعية) من أي مصدر خارجي.

Collimate
تمركز أو احتلال نقطة
ضبط الجهاز المساحي أعلي علامة مساحية أرضية (بلغة أو مصطلحات المساحة نقول: احتلال النقطة!).

Complete Instantaneous Phase Measurement
القياس الكامل اللحظي للطور
قياس الطور المعدل للإشارة الحاملة الذي يحتوي علي عدد دورات الطور منذ أول قياس أو أول صدور. أنظر: غموض الدورة الصحيح.

Control Points
نقاط التحكم
النقطة أو النقاط معلومة الإحداثيات. ويتم استخدام هذه الإحداثيات – كقيم ثابتة موثوق بها – في الأعمال المساحية اللاحقة.

Control Segment
الجزء المتحكم
شبكة (من ٥) نقاط مراقبة و تحكم عالمية لتقنية الجي بي إس لتضمن دقة مدارات الأقمار الصناعية وساعاتها الذرية ، و تقع نقطة التحكم المركزية في ولاية كلورا دو بأمريكا.

Correlation Type Channel
قناة ارتباطيه النوع
قناة تستخدم الارتباط – أو الترابط – لضمان التزامن بين الشفرة أو الموجة المولدة داخل المستقبل و الشفرة أو الموجة القادمة من القمر الصناعي.

Cutoff Angle

زاوية القطع
تسمي أيضا زاوية القناع Mask Angle ، أقل قيمة مقبولة لزاوية ارتفاع القمر الصناعي الذي نستقبل إشاراته. يتم تحديد قيمة زاوية القطع – داخل جهاز الجي بي إس – بحيث أنه لا يسجل أو يتعامل مع أي إشارات للأقمار الصناعية التي يقل ارتفاعها عن مستوي الأفق عن هذه القيمة ، وذلك بغرض تفادي الإشارات القريبة من الأفق حيث يكون تأثير الغلاف الجوي كبير علي الإشارات مما يؤدي لسوء دقة تحديد الموقع [غالبا تكون قيمة زاوية القطع ١٥ درجة أو أقل].

Cycle Ambiguity

غموض الدورة
أنظر: الغموض Ambiguity.

Cycle Slip

خطأ الدورة
عدم استمرارية الموجة الحاملة للإشارة التي يتم قياسها نتيجة عائق معين منع الموجة من الوصول لجهاز الاستقبال.

D-Code (Data Message)

الشفرة د (رسالة البيانات)
هي رسالة – ١٥٠٠ بايت – تكون داخل إشارة الجي بي إس تحمل بيانات عن مواقع القمر الصناعي وتصحيح الساعة وكفاءة القمر ، كما أنها تحتوي معلومات عن باقي الأقمار الصناعية في منظومة الجي بي إس.

Datum

المرجع أو البيان
نظام مرجعي - أفقي أو رأسي – للقياسات و الحسابات المساحية. يتم استخدام مجموعة من العناصر ونقاط التحكم للتحديد الدقيق ثلاثي الأبعاد لشكل الأرض. يحدد المرجع أجزاء من نظام الإحداثيات الجغرافية الذي يكون الأساس لنظام إحداثيات مستوية. عامة تكون المراجع الأفقية منسوبة لالبسويد ellipsoid (اقطع الناقص أو الشكل البيضاوي) أو لشبكة إحداثيات مترية. أما المراجع الرأسية فتكون مرجعة إلي الجيويد (الشكل الحقيقية للأرض).
يسمي أحيانا المرجع الجيوديسي **Geodetic Datum**

Datum Transformation, Geographic Transformation

تحويل المراجع (أو التحويل الجغرافي)
طريقة رياضية لتحويل البيانات (الإحداثيات) بين نظامي إحداثيات جغرافية أي بين مرجعين مختلفين.

Deflection of the Vertical

انحراف الرأسي
الزاوية بين الاتجاه العمودي علي الجيويد (خط الشاغول) والاتجاه العمودي علي الاليبسويد.

Delay Lock
قفل التأخير
تقنية لارتباط الشفرة حيث يتم مقارنة الشفرة القادمة من القمر الصناعي مع نسختين (أحدهما مبكرة والثانية متأخرة) من الشفرة المرجعية التي يتم توليدها داخل جهاز الاستقبال.

Differencing
توليد اختلاف أو فروق
أسلوب مستخدم في حسابات خط القاعدة لتحديد قيمة غموض الدورة وتقليل عدد مصادر الأخطاء التي تشمل تغير الذبذبة و أخطاء الغلاف الجوي. يقوم هذه الأسلوب علي توليد فروق لقياسات الموجة الحاملة سواء من خلال فروق الزمن أو فروق التردد أو فروق المستقبلات أو فروق الأقمار أو أي توليفة من الفروق السابقة.

وأشهر أنواع الفروق هي كالآتي:

Single difference between receivers
الفرق الأحادي بين أجهزة الاستقبال
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي إس يستقبلان نفس الإشارات في نفس اللحظة.

Double difference between receivers and between satellites
الفرق الثنائي بين أجهزة الاستقبال والأقمار الصناعية
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة لقمرين صناعيين مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي إس يستقبلان نفس الإشارات في نفس اللحظة. أي أن الفرق الثنائي هو الفرق بين ٢ فرق أحادي لقمرين صناعيين عند نفس اللحظة.

A triple difference between receivers, between satellites, and between epochs
الفرق الثلاثي بين أجهزة الاستقبال والأقمار الصناعية واللحظات
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة لقمرين صناعيين مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي إس يستقبلان نفس الإشارات عند لحظتين مختلفتين. أي أن الفرق الثلاثي هو الفرق بين ٢ فرق ثنائي لقمرين صناعيين في لحظتي رصد متتاليتين.

Differential Positioning
التحديد التفاضلي للمواقع (أو الإحداثيات)
تحديد موقع أو إحداثيات نقطة نسبة لموقع نقطة مرجعية حيث يكون جهازي استقبال جي بي إس يرصدوا الإشارات عند كلا النقطتين في نفس اللحظة.

Differential GPS (DGPS)
الجي بي إس التفاضلي
هو امتداد لمنظومة الجي بي إس باستخدام محطة أو محطات أرضية لبث المواقع أو الإحداثيات [غالبا يستخدم مصطلح DGPS في المساحة ليعبر عن وضع يكون فيه جهاز جي بي إس ثابت علي نقطة معلومة وآخر متحرك وبأسلوب معين يمكن الاستفادة من إحداثيات النقطة المعلومة لزيادة دقة الإحداثيات المحسوبة للنقطة المجهولة].

Dilution of Precision (DOP)
تخفيف الدقة
مقياس للتأثير الهندسي لعدم الدقة في تحديد أي موقع.

أشهر أنواع DOP هي:

GDOP
التخفيف الهندسي للدقة
مقياس الدقة في الموقع ثلاثي الأبعاد وأيضا الزمن.

GDOP
التخفيف الهندسي للدقة
مقياس الدقة في الموقع ثلاثي الأبعاد وأيضا الزمن.

PDOP
التخفيف الموقعي للدقة
مقياس الدقة في الموقع ثلاثي الأبعاد.

HDOP
التخفيف الأفقي للدقة
مقياس الدقة في الموقع ثنائي الأبعاد أي الأفقي.

VDOP
التخفيف الرأسي للدقة
مقياس الدقة في الموقع الرأسي أي الارتفاع.

RDOP
التخفيف النسبي للدقة
مقياس الدقة النسبي أي جودة خط القاعدة.

Doppler Shift
فرق دوبلر
التغير في تردد الإشارة القادمة نتيجة تغير معدل المسافة بين القمر و جهاز الاستقبال (أول من تحدث عنه العالم دوبلر ولذلك سمي باسمه). أنظر أيضا: الطور المعدل للموجة الحاملة.

Dynamic Positioning
التحديد الديناميكي للمواقع أو الإحداثيات
أنظر: التحديد المتحرك للمواقع Kinematic Positioning

Ellipsoidal Height
الارتفاع الاليبسويدي
ارتفاع أي نقطة عن سطح الاليبسويد. يسمي أيضا الارتفاع الجيوديسي Geodetic Height

Fast Switching Channel

القناة سريعة التحول أو التغير

قناة تغير أو تحول لها معدل زمني صغير بدرجة تكفي لتحديد (من خلال برنامج حساب) الجزء الصحيح من طور الموجة الحاملة.

Fractional Instantaneous Phase Measurement

قياس الجزء اللحظي للطور

مقياس لطور الموجة الحاملة للإشارة لا يحتوي أي جزء صحيح لعداد الدورة ، وتكون قيمته بين الصفر و الواحد. أنظر أيضا: Complete Instantaneous Phase Measurement

Frequency Band

مجموعة ترددات

مقدار – أو مجموعة - من الترددات في جزء محدد من الطيف الكهرومغناطيسي.

Frequency Spectrum

الطيف الترددي

تشتت نطاق – بدلالة جزء من التردد – تردد موجة معينة لإشارة.

Galileo

جاليليو

النظام الأوروبي للملاحة و تحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية (تحت التطوير).

Geoid

الجيويد

السطح الأساسي في علم الجيوديسيا ويعرف بأنه: سطح متساوي الجهد equipotential لمجال الجاذبية الأرضية الذي يمكن تقريبه – بدرجة كبيرة – بمستوي متوسط سطح البحر Mean Sea Levelأو المعروف باسم MSL (الفرق بين الجيويد و MSL في حدود ١-٢ متر). الجيويد هو المرجع الجيوديسي الرأسي للارتفاعات الأرثومترية Orthometric Heights أو المناسيب [شكل الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض لكنه شكل متعرج غير منتظم وليس له معادلات حسابية لوصفه وبالتالي لا يمكن استخدامه في حسابات المساحة وتحديد المواقع و إنشاء الخرائط ولذلك نستعيض عنه – حسابيا - بالالبسويد].

Geodetic Height

الارتفاع الجيوديسي

ارتفاع أي نقطة عن سطح الاليبسويد. يسمي أيضا الارتفاع الاليبسويدي Ellipsoidal Height

Geoidal Height

الارتفاع الجيويدي ، يرمز له N

الفرق بين الارتفاع الأرثومتري (يرمز له H) و الارتفاع الجيوديسي (يرمز له h). يسمي أيضا حيود الجيويد Geoidal Undulation [العلاقة الرياضية أو المعادلة بين الارتفاعات الثلاثة هي: $N = h – H$].

GLobal Orbiting NAvigation Satellite System (GLONASS)
جلوناس
النظام الروسي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية (أي المنافس الروسي للجي بي إس).

Global Positioning System (GPS)
النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف اختصارا باسم الجي بي إس.

Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
النظم الملاحية العالمية للأقمار الصناعية
أي نظام ملاحي عالمي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية [أي أن الجي بي إس و جلوناس و جاليليو يعدوا من نظم GNSS].

Handover Word
كلمة التحول
كلمة داخل رسالة القمر الصناعي تحتوي علي معلومة التزامن عند التحول من الشفرة المدنية C/A إلي الشفرة العسكرية P.

Independent Baselines
خطوط قاعدة مستقلة
خطوط قاعدة تم قياسهم من خلال فترات رصد sessions مستقلة.

Independent Observing Sessions
فترات رصد مستقلة
فترات رصد يمكن فيها إهمال تأثير أي خطأ مشترك يؤثر علي الأرصاد.

Ionospheric Refraction
الانكسار الأيوني
تأثر أي إشارة تمر في طبقة الايونوسفير (أحدي طبقات الغلاف الجوي التي تتميز بعدم استقرار الايونات فيها) وخاصة في الزمن مقارنة بنفس زمن مرورها في الفراغ. يؤثر الانعكاس الأيوني علي الطور طبقا لعدد الالكترونات التي تؤثر علي الإشارة الحاملة.

Interferometry
تبادلي
أنظر: Relative Positioning التحديد النسبي للمواقع.

Kinematic Positioning
التحديد المتحرك للمواقع
يعبر عن التطبيقات التي نحدد فيها موقع هدف متحرك مثل سفينة ، طائرة ، ... الخ.

Lane
حارة أو ممر ضيق
المساحة المحصورة بين خطين (أو سطحين) متجاورين من طور الموجة الحاملة للإشارة أو الفرق بين طورين لإشارتين مختلفتين.

L Band
مجموعة ترددات L
تردد الراديو الممتد من ٣٩٠ ميجا هرتز إلي ١٥٥٠ ميجا هرتز.

L1
تردد L1
التردد الأول الذي تبث عليه أقمار الجي بي إس إشاراتها ويساوي ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز ، وعلي هذا التردد توجد الشفرة المدنية C/A والشفرة العسكرية P وأيضا الرسالة الملاحية للقمر الصناعي.

L2
تردد L2
التردد الثاني الذي تبث عليه أقمار الجي بي إس إشاراتها ويساوي ١٢٢٧.٥٠ ميجاهرتز ، وتوجد علي هذا التردد الشفرة العسكرية P فقط.

L5
تردد L5
التردد الثالث الذي ستبدأ أقمار الجي بي إس بث إشاراتها عليه عند اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي إس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠٠٩م] وسيكون التردد مساويا ١١٧٦.٤٥ ميجا هرتز.

L2C
شفرة مدنية جديدة – أو ثانية باعتبار الشفرة المدنية الأولي هي C/A – ستبدأ أقمار الجي بي إس بثها – علي التردد الثاني L2 - مع اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي إس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠١١م].

L2M
شفرة عسكرية جديدة – أو ثانية باعتبار الشفرة العسكرية الأولي هي P – ستبدأ أقمار الجي بي إس بثها – علي التردد الثاني L2 - مع اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي إس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠١١م].

Lock
اتصال مستمر
حالة الاستمرارية – وعدم الانقطاع - في استقبال إشارة راديو [من القمر الصناعي].

Mask Angle
زاوية القناع
أنظر: Cutoff Angle

Monitor Station
محطة مراقبة
واحدة من خمسة محطات تديرهم وزارة الدفاع الأمريكية لضبط منظومة الجي بي إس والتأكد من كفاءة عملها.

Multipath
تعدد المسارات
ظاهرة – كأنها تشبه وجود ظلال علي شاشة التلفزيون – حيث تصل إشارة القمر الصناعي إلي جهاز الاستقبال بعد أن تكون مرت في مسارات متعددة. أي أن المسار سيكون أطول من المفترض (بين القمر و جهاز الاستقبال) بعد أن ينعكس من أي عائق مثل الأرض أو مبني أو مركب ... الخ وبالتالي فأنه عندما يصل إلي جهاز الاستقبال سيعطي مسافة (بين القمر الصناعي و الجهاز) أطول من المسافة الحقيقية مما سينتج معه خطأ في حساب الإحداثيات ، وهو الخطأ المسمي: خطأ تعدد المسارات.

Multipath Error
خطأ تعدد المسارات
خطأ يحدث نتيجة تداخل موجات الراديو - التي تسافر من الأقمار الصناعية إلي أجهزة الاستقبال – من خلال مسارين لهم طولي موجة مختلفين. [يحدث هذا الخطأ في قياسات الجي بي إس نتيجة انكسار إشارة القمر الصناعي علي أي جسم أو عائق (مبني أو شجرة أو عائق معدني) ثم ارتدادها لتصل إلي جهاز الاستقبال].

Multi-Channel Receiver
مستقبل متعدد القنوات
جهاز استقبال جي بي إس يحتوي عدة قنوات.

Multiplexing Channel
قناة متعددة التحول أو متعددة الاستقبال
قناة في جهاز الاستقبال تسمح بالتحول بين إشارات عدة أقمار صناعية بمعدل يتزامن مع زمن رسالة قمر الجي بي إس (٥٠ بايت في الثانية أو ٢٠ مللي ثانية للبايت الواحد) أي أن التحول من رسالة قمر إلي الآخر تستغرق ٢٠ مللي ثانية. [هذا النوع من القنوات يقلل من تكلفة جهاز الاستقبال لان عدد قنوات الاستقبال سيقل لكنه غير مناسب للأجهزة الهندسية التي تتطلب دقة في استقبال رسالة كل قمر صناعي علي قناة مستقلة].

NAV Data
وأيضا تسمي

Navigation Message
الرسالة الملاحية
رسالة – ١٥٠٠ بايت – سيبثها كل قمر صناعي بمعدل ٥٠ بايت/ثانية علي كلا من الترددين L1 و L2 ، وتحتوي هذه الرسالة علي بيانات: الزمن ، قيم تصحيح الساعة ، عناصر نموذج

تصحيح خطأ الايونوسفير ، و مدار القمر وكفائتة. وهذه البيانات هي التي تستخدم لحساب موقع أو إحداثيات المستخدم.

NAVSTAR

نافستار

اسم كل قمر صناعي في تقنية الجي بي إس ، وهي الأقمار التي تقوم شركة روكويل الأمريكية بتصنيعها.

Network Adjustment

ضبط الشبكات

أسلوب رياضي لتطبيق نظرية مجموع أقل المربعات Least-Squares حيث يتم التعامل مع جميع أرصاد (خطوط قواعد) الشبكة الجيوديسية وتطبيق الشروط الهندسية عليها بغرض الحصول علي أدق قيم لإحداثيات النقاط المرصودة [ضبط الشبكات هي من أهم خطوات حسابات الجي بي إس للتطبيقات المساحية الدقيقة].

NMEA Standards

مواصفات الوكالة الوطنية الأمريكية لالكترونيات الملاحة

مواصفات تحددها وتنشرها هذه الوكالة كخطوات قياسية لتركيب الرسائل الملاحية لكي تسمح بتعامل أجهزة استقبال الجي بي إس مع رسائل الأقمار الصناعية وأيضا التعامل مابين الأجهزة المختلفة [مثل صيغة ASCII لتبادل الملفات علي الحاسب الآلي دون الحاجة لبرنامج معين لقراءة محتويات الملف].

Observing Session

فترة رصد

الفترة الزمنية لتجميع بيانات الجي بي إس في نفس اللحظة بواسطة جهازي استقبال أو أكثر.

On-The-Fly (OTF)

علي الطائر

(الترجمة العربية الحرفية غريبة جدا!) ، هو أسلوب أو طريقة من طرق حساب خطأ غموض الطور Ambiguity Resolution بحيث تتم الحسابات بسرعة دون الحاجة لبقاء جهاز الجي بي إس علي النقطة المعلومة لفترة زمنية طويلة. يستخدم أسلوب OTF في بداية العمل الحقلي لتقنية التحديد الديناميكي للمواقع Kinematic Positioning حيث يتم نقل الجهاز من أول نقطة للنقطة الأخرى بسرعة بعد حساب قيمة غموض الطور للنقطة الأولي ، ويشترط لإتباع هذا الأسلوب أن يكون جهاز الجي بي إس من النوع ثنائي التردد أي يستطيع استقبال إشارات الترددين L1 و L2.

Orthometric Height

الارتفاع الأرثومتري

ارتفاع أي نقطة عن سطح الجيويد.

والعلاقة بين الارتفاع الأرثومتري H و الارتفاع الجيوديسي h [ارتفاع النقطة عن سطح الاليبسويد وهو الذي ينتج مباشرة من أرصاد الجي بي إس] هي:

$$h = H + N$$

حيث N ارتفاع الجيويد أو حيود الجيويد.

Outage
رفض أو خارج الحدود
حدوث زيادة في قيمة معامل الدقة DOP أكثر كمن قيمة معينة مطلوبة [أي يتم إظهار رسالة علي شاشة جهاز الجي بي إس أن الأرصاد مرفوضة لأنها خارج حدود الدقة المطلوبة أو المحددة سلفا].

Perigee
الحضيض القمري
نقطة في المدار يكون عندها القمر الصناعي علي أقل بعد – أو مسافة – من مركز الأرض.

Phase Lock
تقنية أو أسلوب حيث يتم تكرار طور إشارة القمر الصناعي – داخل جهاز الاستقبال - ومقارنته بطور إشارة القمر الصناعي الأصلية ثم استخدام فرق الطور لضبط الذبذبة الأساسية وحذف الفرق [هذا الأسلوب هو المتبع في أجهزة الجي بي إس الهندسية أو الجيوديسية مما يسمح بالحصول علي دقة عالية في حساب الإحداثيات ، لكنه في نفس الوقت يتطلب مواصفات تقنية عالية في هذه النوعية من الأجهزة مما يجعل سعرها أكثر بكثير من سعر الأجهزة الملاحية أو المحولة يدويا التي تعتمد فقط علي التعامل مع الشفرة وليس الطور].

Phase Measurement
قياسات الطور
قياس يعبر عنه بنسبة مئوية بدلا من جزء الموجة ، مثال: طول الموجة يكون ١٠٠% ونصف طول الموجة يكون ٥٠% ... وهكذا.

Phase Observable
رصده الطور
أنظر: Reconstructed Carrier Phase

Precise or Protected Code (P)
الشفرة الدقيقة أو الشفرة المحمية أو الشفرة العسكرية المعروفة باسم P
الشفرة الموجودة علي الموجات الحاملة لإشارات الجي بي إس ، وتبث بمعدل ١٠.٢٣ ميجا هرتز والذي يكرر نفسه كل ٢٦٧ يوم. كل جزء يستمر أسبوع من هذه الشفرة يكون مخصصا لقمر صناعي واحد وغالبا يعاد ضبطه كل أسبوع [هذه الشفرة أدق بمراحل من الشفرة المدنية C/A ، لكنها مشفرة ولا يمكن فكها من خلال أجهزة الجي بي إس المدنية و تحتاج لنوعية خاصة من الأجهزة لا يسمح بها إلا داخل الجيش الأمريكي فقط].

Point Positioning
تحديد موقع نقطة
أنظر: Absolute Positioning

Polar Plot
توقيع - أو رسم - قطبي
رسم دائري يتم به توقيع ارتفاع و انحراف كل قمر صناعي بدلالة الزمن بالنسبة إلي موقع محدد.

Positioning
تحديد الموقع
تحديد موقع (غالبا موقع جهاز استقبال جي بي إس) بالنسبة لنظام إحداثيات معين.

Post-Processing Differential GPS
الجي بي إس التفاضلي المعالج لاحقا
أسلوب من أساليب الجي بي إس التفاضلي [أي جهاز جي بي إس ثابت علي نقطة معلومة و جهاز آخر علي نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفترة الزمنية] حيث تتم الحسابات و تحديد الإحداثيات لاحقا في المكتب باستخدام برامج حاسب إلي software [هو أفضل الأساليب المتبعة في التطبيقات المساحية الدقيقة].

Precise Ephemeris
بيانات المدارات الدقيقة
البيانات التي يتم حسابها لمدارات الأقمار الصناعية بناءا علي المعلومات التي تبثها الأقمار الصناعية بالإضافة لمعلومات مراقبة الأقمار ذاتها [هذه البيانات يتم حسابها بعد مرور ١٥ يوم من الرصد حيث تقوم جهات دولية متخصصة مثل IGS بحساب المدارات الدقيقة لكل قمر صناعي ، والتي إذا تم استخدامها في حسابات الجي بي إس ستعطي إحداثيات أدق للنقاط المرصودة حيث أن هذه البيانات تكون أدق بكثير من بيانات مدارات الأقمار التي تبثها الأقمار الصناعية ذاتها Broadcast Ephemeris ، وغالبا يتم استخدام هذه البيانات الدقيقة في الأعمال المساحية التي تتطلب دقة عالية مثل إنشاء الشبكات الجيوديسية و مراقبة تحركات القشرة الأرضية].

Precise Positioning Service
خدمة التحديد الدقيق للمواقع
التحديد الديناميكي للمواقع باستخدام جهاز جي إس واحد فقط بالاعتماد علي الشفرة العسكرية الدقيقة P [أي هذه هو الأسلوب المتبع لأجهزة الجي بي إس العسكرية فقط].

Projected Coordinates
الإحداثيات المسقطة
تحديد موقع أي نقطة علي الأرض في نظام ثنائي الأبعاد ، وفيه يتم تحديد الموقع بناءا علي المسافتين من محور هذا النظام من خلال محورين أحدهما المحور السيني في الاتجاه شرق-غرب و الآخر المحور الصادي في اتجاه شمال-جنوب. ونحتاج لمعادلات إسقاط الخرائط لتحويل الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض) إلي الإحداثيات المسقطة.

Projected Coordinate System
نظام إحداثيات مسقطة
نظام مرجعي لقياس المسافتين الأفقية و الرأسية من خريطة أفقية. غالبا يتم تحديد هذا النظام من خلال معادلات إسقاط الخرائط وتحديد الييسويد مرجعي كمرجع [مثال لنظم الإحداثيات المسقطة: نظام UTM].

Projection

إسقاط

معادلة رياضية لتحويل أي موقع علي سطح الأرض المجسم (أي ثلاثي الأبعاد) إلي سطح الخريطة (ثنائي الأبعاد) ، مثال: معادلات تحويل الإحداثيات الجغرافية – خط الطول و دائرة العرض – إلي الإحداثيات الأفقية س ، ص. يجب ملاحظة أن الإسقاط يسبب تشوه في واحدة من الخصائص الفراغية: المسافة ، المساحة ، الشكل ، الاتجاه.

Psedolite

نقطة جي بي إس افتراضية

نقطة جي بي إس أرضية تبث إشارات لها تركيب مماثل لإشارات قمر صناعي جي بي إس حقيقيي.

Pseudo Random Noise (PRN)

ضجيج عشوائي زائف

عندما نصف شفرة معينة بهذا الاسم فهذا يدل علي لأن هذه الشفرة لها خصائص الضجيج العشوائي. وعندما نتحدث عن الأقمار الصناعية فأن PRN هو رقم محدد يعطي لكل قمر صناعي من أقمار الجي بي إس [مثال PRN 23 أي القمر الصناعي رقم ٢٣].

Pseudorange

المسافة الزائفة

فرق الزمن لمطابقة نسخة شفرة جي بي إس (مولدة داخل جهاز الاستقبال) مع شفرة القمر الصناعي ذاته ، ويتم تحويل هذا الزمن إلي مسافة – بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال – بضربه في سرعة الضوء. فرق الزمن هذا يعني أننا نقوم بطرح زمن الإرسال (وقت خروج الإشارة من القمر الصناعي) من زمن الاستقبال (وقت وصول الإشارة إلي جهاز الاستقبال) وبالتالي فأن هذا الفرق الزمني يشتمل ضمنيا علي خطأ الزمن لكلا من القمر الصناعي و جهاز الاستقبال.

Pseudorange Difference

فرق المسافة الزائفة

أنظر: Reconstructed Carrier Phase

Real-Time Kinematic (RTK)

الرصد المتحرك اللحظي

أسلوب من أساليب الجي بي إس التفاضلي [أي جهاز جي بي إس ثابت علي نقطة معلومة و جهاز آخر علي نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفترة الزمنية] حيث تتم الحسابات و تحديد الإحداثيات في نفس لحظة الرصد عن طريق وجود أجهزة راديو لاسلكي بين جهازي الجي بي إس [هو الأسلوب المتبع في تطبيقات التوقيع المساحي في الحقل].

Real-Time Differential GPS

الجي بي إس التفاضلي اللحظي

أسلوب من أساليب الجي بي إس التفاضلي [أي جهاز جي بي إس ثابت علي نقطة معلومة و جهاز آخر علي نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفترة الزمنية] حيث تتم الحسابات و تحديد الإحداثيات في نفس لحظة الرصد عن طريق وجود أجهزة راديو لاسلكي

بين جهازي الجي بي إس [هو الأسلوب المتبع في تطبيقات التوقيع المساحي في الحقل]. الفرق بين أسلوب الجي بي إس التفاضلي اللحظي و أسلوب الرصد المتحرك اللحظي RTK أن الأول يعتمد علي قياسات الشفرة code بينما يعتمد الثاني علي قياسات الموجة الحاملة للإشارة مما يجعله – أي الأسلوب الثاني RTK – أدق من الأسلوب الأول.

Reconstructed Carrier Phase

الطور المعاد تركيبه للموجة الحاملة

هو فرق الطور بين طور الموجة الحاملة للإشارة القادمة من القمر الصناعي و طور الموجة المولدة داخل جهاز استقبال الجي بي إس. في التطبيقات الديناميكية (المتحركة) فأن هذا الفرق يتم في لحظة وصول شفرة القمر الصناعي ، مما يجعل هذا الفرق مقياس للتغير في علاقة القمر-المستقبل مابين لحظات رصد متتالية. أما في التطبيقات الثابتة (المساحية) فأن الفرق يتم في لحظات تحددها ساعة جهاز الاستقبال. والتغير في هذا الفرق يكون متأثرا بأخطاء فرق التزامن بين ذبذبات القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. ويمكن إرجاع الطور المعاد تركيبه للموجة الحاملة علي أنه يساوي المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال بعد أن نقوم بحل قيمة غموض الدورة Phase Ambiguity .

Relative Positioning

التحديد النسبي للمواقع

أنظر: Differential Positioning

Receiver-Independent Exchange format (RINEX)

صيغة راينكس

صيغة تبادل البيانات دون الاعتماد علي نوع جهاز الاستقبال ، مما يسمح بتبادل ملفات أرصاد الجي بي إس التي تم رصدها بعدد من أنواع أجهزة الاستقبال وأن يقوم أي برنامج حسابات باستخدام هذه الملفات لحسب الإحداثيات [مثل صيغة ASCII لتبادل الملفات النصية بين برامج الحاسب الآلي].

S-Code

الشفرة S

اسم آخر للشفرة المدنية C/A

Satellite Constellation

وضع الأقمار الصناعية

وضع مجموعة الأقمار الصناعية في المدار.

Satellite Message

رسالة القمر الصناعي

أحيانا يطلق عليها اسم الشفرة D (Data or D Code). مجموعة من البيانات منخفضة التردد – ٥٠ هرتز – موجودة علي كلا الترددين الأول L1 والثاني L2 ، وتم تصميم هذه البيانات بحيث تخبر مستخدم الجي بي إس عن كفاءة و موقع القمر الصناعي ، ويمكن لجهاز الاستقبال قراءة هذه الرسالة واستخدامها في حساب موقعه أو إحداثياته في لحظة الرصد هذه.

Selective Availability (S/A)

الاتاحية المنتقاه

سياسة وزارة الدفاع الأمريكية لخفض دقة تقنية الجي بي إس للمستخدمين المدنيين [كانت هذه السياسة مستمرة منذ بدء تقنية الجي بي إس بحيث كانت دقة تحديد المواقع لحظيا أو ميدانيا في حدود ١٠٠ متر ، لكن توقفت وزارة الدفاع الأمريكية عن تطبيق هذه السياسة في عام ٢٠٠٠م بحيث أصبحت الدقة اللحظية بحد أقصي ٢٢ متر أفقيا وفي المتوسط تكون أقل من ١٠ متر فقط].

Simultaneous Measurements

القياسات المتبادلة

مجموعة من القياسات التي تتم في نفس اللحظة الزمنية.

Solution-Independent Exchange format (SINEX)

صيغة ساينكس

صيغة تبادل نتائج الحسابات دون الاعتماد علي نوع برنامج الحسابات ، مما يسمح بتبادل ملفات نتائج حسابات الجي بي إس التي تم إجراؤها بعدد من أنواع برامج الحساب software وأن يقوم أي مستخدم أو جهة باستخدام هذه الملفات لتقييم النتائج.

Slow Switching Channel

القناة بطيئة التحول

قناة – داخل جهاز الاستقبال – لها فترة زمنية طويلة تجعلها قادرة علي تحديد قيمة الجزء الصحيح من الموجة الحاملة للإشارة.

Space Segment

جزء الفضاء

أحد مكونات تقنية الجي بي إس الثلاثة التي تشمل الأقمار الصناعية في الفضاء.

Spheroid

الاسفرويد

اسم آخر للالبسويد Ellipsoid

Standard Positioning Service (SPS)

خدمة تحديد المواقع القياسية

تحديد المواقع أو الإحداثيات باستخدام جهاز استقبال واحد بالاعتماد علي الشفرة المدنية C/A.

أنظر أيضا: PPS

Static Positioning

التحديد الثابت للمواقع أو الإحداثيات

تحديد موقع أو إحداثيات جهاز استقبال ثابت أي غير متحرك.

Stop-and-Go Kinematic Surveying

المسح المتحرك بطريقة قف-تحرك

تقنية من تقنيات رصد الجي بي إس حيث يكون هناك جهاز جي بي إس ثابت علي نقطة مساحة أرضية – معلومة الإحداثيات- بينما الجهاز الآخر يتحرك ليرصد نقطة تلو الأخرى من النقاط المطلوب تحديد موقعها وتكون مدة رصد كل نقطة فترة قصيرة ، بحيث يكون هناك أربعة أقمار صناعية علي الأقل يتم استقبال إشاراتها. والهدف من هذا الأسلوب أو التقنية هو تحديد مواقع – أو إحداثيات – هذه النقاط المجهولة [اعتمادا علي معرفة إحداثيات النقطة المعلومة التي يحتلها الجهاز الثابت].

Switching Channel

قناة متغيرة

قناة – داخل جهاز الجي بي إس – يمكن أن تتحول من رصد و متابعة قمر صناعي إلي رصد و متابعة قمر آخر.

Time Tag

علامة زمنية

الزمن المخصص أو المحدد لرصده حقيقية.

Translation

تحويل

أنظر: Differential Positioning

Troposphere

التروبوسفير

الطبقة الداخلية من الغلاف الجوي للأرض والتي توجد علي ارتفاع يتراوح بين ٦ و ١٢ ميل من سطح الأرض.

User Equivalent Range Error (UERE)

خطأ المسافة المعادل للمستخدم

مصطلح لدقة رصده جي بي إس حيث يعبر عن تأثير كلا من خطأ المدار وخطأ الزمن وخطأ جهاز الاستقبال. عندما تزيد قيمة هذا المصطلح UERE فتدل علي أن الاتاحية المنتقاه S/A قم تم تطبيقها علي إشارات الأقمار الصناعية.

User Segment

جزء المستخدم

جزء من أجزاء منظومة الجي بي إس له علاقة بالمستخدمين (أجهزة استقبال الجي بي إس).

Visible Plot

رسم المرئي

رسم أو توقيع لعدد الأقمار الصناعية التي تكون مرئية (أي متاحة للرصد) في موقع معين في يوم محدد.

Wide Area Augmentation System (WAAS)

نظام زيادة المناطق الشاسعة

نظام من الأقمار الصناعية و المحطات الأرضية تسمح ببث تصحيحات الجي بي إس بغرض الحصول علي دقة أعلي في تحديد المواقع [مثل: إنشاء محطات أرضية منتشرة علي مساحة كبيرة ويتم تركيب أجهزة جي بي إس ثابتة عند كل محطة معلومة الإحداثيات وتقوم هذه المحطات بحساب وبث تصحيح قياسات الجي بي إس من خلال أجهزة راديو لاسلكية بحيث أن مستخدم الجي بي إس يرصد الأقمار الصناعية و في نفس اللحظة – من خلال جهاز راديو لاسلكي متصل بجهازه – يستقبل التصحيحات من المحطات الأرضية ، وتكون النتيجة أنه يستطيع حساب إحداثيات موقعه بدقة أعلي من دقة الجي بي إس العادية مع أنه يستخدم جهاز واحد وليس الرصد التفاضلي اللحظي].

World Geodetic System 1984 (WGS84)

النظام الجيوديسي العالمي ١٩٨٤

هو المرجع الأساسي لتقنية الجي بي إس ، أي أن الإحداثيات الناتجة من الجي بي إس تكون منسوبة إلي WGS84 [يمكن بعد ذلك تحويلها إلي أي مرجع جيوديسي آخر بمعرفة قيم عناصر العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين].

Y Code

الشفرة Y

الشفرة العسكرية P بعد تشفيرها.

Z-count Word

كلمة عداد Z

زمن القمر الصناعي الذي يكون في نهاية الرسالة الملاحية التي يبثها كل قمر من أقمار الجي بي إس.

Zero Baseline

خط القاعدة صفر

هو اختبار لقياس مدي كفاءة و دقة جهاز جي بي إس معين ، ويتم فيه توصيل جهازين جي بي إس إلي نفس الإنتنا Antenna .

ملحق رقم ٣

المرجع و نظام الإحداثيات لجمهورية مصر العربية

المصدر: مجلة الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد ASPRS ، عدد نوفمبر ٢٠٠٨ ، صفحة ١٣٠٧-١٣٠٩.

سلسلة عمود: المراجع و نظم الإحداثيات للكاتب كليفورد موجنير Clifford J. Mugnier,

ترجع جذور الحضارة المصرية أكثر من ٦٠٠٠ عام إلي بدايات التوطن البشري علي ضفاف نهر النيل. أدت وفرة وشبه دوام الفيضان السنوي للنيل والعزلة بين الصحراء في الشرق و الغرب إلي تطور واحدة من أعظم حضارات العالم. نشأت مملكة موحدة في عام ٣٢٠٠ ق.م وحكمت مصر عدة أسر في الثلاثة آلاف عام التالية. سقطت أخر أسرة أمام الفرس في عام ٣٤١ ق.م والذين بدورهم سقطوا أمام اليونانيون والرومان و البيزنطيون. أدخل العرب الإسلام واللغة العربية في القرن السابع وحكموا مصر للستة قرون التالية. ظهرت طبقة عسكرية باسم المماليك وحكمت مصر حوالي عام ١٢٥٠م واستمرت في الحكم بعد سقوط مصر تحت العثمانيون الأتراك في ١٥١٧م (كان المماليك محاربون أقوياء لدرجة أن مشاة البحرية الأمريكية اتخذوا تصميم سيفهم المغطي بالعاج كعلامة عسكرية لزى الضباط!). مع اكتمال شق قناة السويس في ١٨٦٩م أصبحت مصر ممر تجاري عالمي مهم ووقعت تحت دعاوي مزعومة لحماية المصالح البريطانية واحتلت بريطانيا مصر في ١٨٨٢م مع الولاية الاسمية لمصر للحكم العثماني والذي استمرت حتى ١٩١٤م. ظاهريا استقلت مصر عن بريطانيا في ١٩٢٢م لكن بريطانيا استمرت مسيطرة علي الحكم الملكي حتى عام ١٩٥٢م. أكتمل بناء السد العالي في أسوان في ١٩٧١م وغيرت البحيرة المتكونة – بحيرة ناصر – من مكانة نهر النيل في مجالي الزراعة والبيئة[1].

تمتد حدود مصر مع قطاع غزة (بطول ١١كم) ومع فلسطين[2] (٢٦٦كم) ومع ليبيا (١١١٥ كم) ومع السودان (١٢٧٣ كم) وتمتد شواطئها علي البحرين الأبيض و الأحمر بطول ٢٤٢٠ كم. مساحة مصر أكثر قليلا من ثلاثة أضعاف مساحة ولاية نيومكسيكو الأمريكية وتتكون طبوغرافيتها أساسا من هضبة يقطعها وادي النيل و الدلتا حيث تقع أوطي نقطة عند منخفض القطارة (-١٣٣ متر) وأعلي نقطة في جبل كاترين (٢٦٢٩ متر).

كانت **أول مساحة ورسم خرائط حقيقية في مصر في عام ١٧٩٨م** بواسطة نابليون ، حيث قام أربعة من ضبط الحملة الفرنسية مع فلكي و جنود استخبارات برسم قطاع طبوغرافي. قامت وحدة الطبوغرافية الإمبراطورية بقياس خطوط قاعدة في الإسكندرية و القاهرة وتم إنتاج الخريطة الطبوغرافية من خلال شبكات تبلغ خليتها ١٠ كيلومتر و يقع مركزها عند الهرم الأكبر واستخدم اليبسويد له معاملات: نصف المحور الأكبر (a) = ٦٣٧٥٧٣٨.٧ متر والتفلطح (1/f) = ٣٣٤.٢٩ ، وكان المسقط من نوع Bonne والذي كان المسقط المستخدم في أوروبا في ذلك الوقت. وتم نشر خرائط لمصر و فلسطين بعد ذلك في عام ١٨٠٨م.

في عام **١٨٧٤م** قامت عدة حملات يقودها علماء بريطانيون إلي المستعمرات الأوروبية في أفريقيا و المحيط الهندي لإجراء رصد متبادل لكوكب الزهرة بهدف التحديد الدقيق لفرق خطوط الطول. كانت الأماكن المختارة تشمل عدة مناطق منها مصر. تم اتخاذ مرصد حلوان الذي يقع علي **مرتفع الزهرة من مرتفعات المقطم** كنقطة للرصد وتم اتخاذ رمز لهذه النقطة باسم **F1** حيث كانت القياسات: دائرة العرض (Φ_o) = ٤٢.٨٥٩١" ٠١' ٣٠^o شمالا ، خط الطول (Λ_o) = ٣٣.٦" ١٦' ٣١^o شرق جرينتش ، وكان انحراف لابلاس الأساسي (α_o) بين نقطتي O1 (حلوان) و B1 (سقارة) = ٠١.٢٠" ٤٢' ٧٢^o من الجنوب ، المنسوب (H_o) = ٢٠٤.٣ متر طبقا لمتوسط منسوب سطح البحر عند الإسكندرية. وكان هذا هو الأساس الذي بني عليه **"المرجع المصري القديم لعام ١٩٠٧م" أو Old Egyptian Datum 1907**. ويوجد

[1] المرجع: تقرير الحقائق لوكالة المخبرات المركزية الأمريكية ٢٠٠٨
[2] إسرائيل في النص الأصلي ! لكنها فلسطين في الحقيقة

جدال بين المساحيين الجيوديسين حول إشاعة أن اليبسويد كلارك ١٨٦٦ قد استخدم مرة في مصر.

قام السيد شيبرد المدير العام للمساحة المصرية بإبلاغ (باللغة الفرنسية) السكرتير العام للاتحاد العالمي للجيوديسيا و الجيوفيزياء أن العمل الجيوديسي الأولي الذي تم في مصر تم إجراء حساباته علي اليبسويد كلارك ١٨٦٦ حيث نصف المحور الأكبر (a) = ٦٣٧٨.٢٠٦ متر والتفلطح (f) = ١ / ٢٩٥.٠ .وأستمر السيد شيبرد وقال أن كل الأراضي الزراعية لنهر النيل كانت بناء علي شبكات المثلثات الدرجة الثانية و الثالثة (لأغراض الكادستر) قد استخدمت هذا الاليبسويد ، لكن بعد ذلك تم عمل شبكة من المثلثات بطول وادي النيل وتم حسابها بالاعتماد علي اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ حيث نصف المحور الأكبر (a) = ٦٣٧٨.٢٠٠ متر والتفلطح (f) = ١ / ٢٩٨.٣. **وبعد ذلك تم إعادة الحسابات علي اليبسويد هلمرت ١٩٠٦** وأيضا علي الاليبسويد العالمي ١٩٢٤ حيث نصف المحور الأكبر (a) = ٦٣٧٨.٣٨٨ متر والتفلطح (f) = ١ / ٢٩٧.٠[3].

مع أن جزء كبير من العمل المساحي من أنواع مختلفة في مصر قد تم فيما قبل وحتى عام ١٩٠٧م وحتى اكتمال شبكة مثلثات الدرجة الثانية ما بين عامي ١٨٩٨م و ١٩٠٧م ، إلا أن العمل في شبكة مثلثات الدرجة الأولي لم يبدأ إلا في هذا العام الأخير ١٩٠٧م. كانت شبكة مثلثات الدرجة الثانية ضرورية لأعمال الخرائط التفصيلية (الكادسترالية) إلا أنه كانت هناك حاجة لاكتمالها قبل الوصول للدقة العالية لكل مثلثات الدرجة الأولي في البداية. وبالتالي ومع أن هيئة المساحة المصرية قد أنشأت في عام ١٨٩٨م بواسطة السير هنري ليونز إلا أن العمل الجيوديسي من الممكن أن يقال أنه لم يبدأ قبل عام ١٩٠٧م[4].

أنشأ البريطانيون عددا من **نظم الإحداثيات في عام ١٩٢٩م** للمرجع الجيوديسي المصري ١٩٠٧ وتم إعطاء كل شريحة أو حزام من شرائح نظام إسقاط ميريكاتور لونا مختلفا:

- **الحزام البنفسجي:** خط الطول الرئيسي (λ_o) = ٢٧^o شرقا ، دائرة عرض المركز (ϕ_o) = ٣٠^o شمالا ، معامل القياس (Scale factor) عند المركز (m_o) = ١.٠ ، الاحداثي الشرقي الكاذب = ٧٠٠ كيلومتر ، الاحداثي الشمالي الكاذب = ٢٠٠ كيلومتر ، وتم إضافة ١٠٠٠ كيلومتر جنوب المركز الكاذب للإحداثيات الشمالية.
- **الحزام الأحمر:** خط الطول الرئيسي (λ_o) = ٣١^o شرقا ، دائرة عرض المركز (ϕ_o) = ٣٠^o شمالا ، معامل القياس (Scale factor) عند المركز (m_o) = ١.٠ ، الاحداثي الشرقي الكاذب = ٦١٥ كيلومتر ، الاحداثي الشمالي الكاذب = ٨١٠ كيلومتر ، وتم إضافة ١٠٠٠ كيلومتر جنوب المركز الكاذب للإحداثيات الشمالية.
- **الحزام الأخضر:** خط الطول الرئيسي (λ_o) = ٣٥^o شرقا ، دائرة عرض المركز (ϕ_o) = ٣٠^o شمالا ، معامل القياس (Scale factor) عند المركز (m_o) = ١.٠ ، الاحداثي الشرقي الكاذب = ٣٠٠ كيلومتر ، الاحداثي الشمالي الكاذب = ١٠٠ كيلومتر ، وتم إضافة ١٠٠٠ كيلومتر جنوب المركز الكاذب للإحداثيات الشمالية.

[3] المرجع: مجلة Bulletin géodésique العدد ٨ ، ١٩٢٥م

[4] المرجع: Geodesy in Egypt ، تقرير هيئة المساحة الإمبراطورية رقم ٦٠

في **عام ١٩٣٠م** وبعد إعادة ضبط الشبكة الأصلية تم نشر **"المرجع المصري الجديد لعام ١٩٣٠" New Egypt Datum 1930** وتم اعتمادا علي اليبسويد **هلمرت ١٩٠٦**[5] . تم الإبقاء علي نفس الشرائح أو الأحزمة كما هي وبدون أية تعديلات. والاختصار المعروف لهذا المرجع المصري هو **EG30** . وهذا هو الأساس الحالي المستخدم في مصر لكل أعمال الخرائط المدنية.

بعد الحرب العالمية الثانية قامت هيئة الخرائط العسكرية الأمريكية بإعادة حسابات جميع المراجع الجيوديسية التي تغطي الأرض في الجانب الأوروبي من مسرح العمليات وأيضا الجزء الشمالي من أفريقيا. ونتج عن ذلك نظام جديد عرف باسم **المرجع الأوروبي لعام ١٩٥٠م European Datum 1950 وعرف اختصارا باسم ED50** ، وكان اعتمادا علي **الاليبسويد العالمي لعام ١٩٢٤م**. بناءا علي ذلك فقد تغير خط طول نقطة F1 (حلوان) إلي (Λ_o) = ٣١° ١٦' ٣٧.٠٥" شرق جرينتش نتيجة قياس انحراف الخط الرأسي Deflection of the vertical ، لكن كان هذا التغيير فقط للحسابات الجديدة علي الاليبسويد العالمي ١٩٢٤م. تم نشر كل إحداثيات المرجع ED50 بالنسبة لمصر علي شرائح نظام ميريكاتور المستعرض العالمي UTM وكانت مفيدة فقط لأغراض الخرائط العسكرية وليست الخرائط المدنية. وقامت هيئة الخرائط العسكرية الأمريكية بعمليات حساب لنقل المراجع datum shifts للتحويل المباشر بين الشرائح البنفسجي و الأحمر و الأخضر إلي شرائح UTM ED50. ومع أن هذه القيم للتغيير أو النقل كانت سرية إلا أنها نشرت في عام ١٩٥٦م.

يضم التقرير الفني رقم TR8350.2 **لوكالة المساحة العسكرية الأمريكية**[6] نوعين من عناصر نقل المرجع إلي النظام الجيوديسي العالمي لعام ١٩٨٤م (المعروف اختصارا باسم WGS84):

١- **من المرجع المصري القديم ١٩٠٧م إلي WGS84 :** فرق الاحداثي السيني ΔX = -١٣٠ متر ± ٣ متر ، فرق الاحداثي الصاديΔY = ١١٠ متر ± ٦ متر ، وفرق الاحداثي الرأسي ΔZ = -١٣ متر ± ٨ متر ، وهذه القيم بناءا علي استخدام ١٤ نقطة في الحسابات.

٢- **من المرجع الأوروبي ١٩٥٠م ED50 إلي WGS84 :** فرق الاحداثي السيني ΔX = -١٣٠ متر ± ٦ متر ، فرق الاحداثي الصاديΔY = -١١٧ متر ± ٨ متر ، وفرق الاحداثي الرأسي ΔZ = -١٥١ متر ± ٨ متر، وهذه القيم بناءا علي استخدام أيضا ١٤ نقطة في الحسابات.

قمت[7] باستخدام نموذج مولودنسكي ذو السبعة عناصر للنقل بين المراجع وباستخدام ٢٣ نقطة بحساب المعاملات التالية للتحويل: **من المرجع المصري ١٩٣٠ إلي WGS84 :** فرق الاحداثي السيني ΔX = -١٣٧.٥ متر ± ٠.٥ متر ، فرق الاحداثي الصاديΔY = ١٠٥.٠ متر ± ٠.٤ متر ، وفرق الاحداثي الرأسي ΔZ = -١٨.١ متر ± ٠.٤ متر، ومعامل القياس scale factor (δs) = ٤.٣٨×١٠$^{-6}$ ± ١ و زاوية الدوران حول المحور السيني (R_x) = -

[5] في النص الأصلي ١٩٠٩ وربما كانت غلطة مطبعية فقط !
[6] يمكن الحصول علي نسخة كاملة منه من الرابط: http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html
[7] المؤلف الأصلي للمقال و ليس المترجم !

٥.٠" ± ٠.٧" ، و زاوية الدوران حول المحور الصادي (R_y) = ١.٥٩" ± ٠.٤٨" ، و زاوية الدوران حول المحور الرأسي (R_z) = ١.٥١" ± ٠.٢٦".

كما يوجد حل آخر[٨] باستخدام عدد ١٩ نقطة مختلفة الوزن مع ٥ نقاط اختبار يغطوا مساحة أكبر من مصر ، أسفر عن قيم معاملات التحويل التالية[٩] **من المرجع المصرى ١٩٣٠ إلى مرجع WGS84 :**

فرق الاحداثي السيني ΔX = -٨٨.٨٣٢ متر ± ٠.٠٢ متر
فرق الاحداثي الصادي ΔY = ١٨٦.٧١٤ متر ± ٠.٠٣ متر
فرق الاحداثي الرأسي ΔZ = ١٥١.٨٢ متر ± ٠.٠١ متر
معامل القياس scale factor (δs) = -٦.٤١٣×١٠^-٦ ± ١.٨٤
زاوية الدوران حول المحور السيني (R_x) = -١.٣٠٥" ± ٢.٢١"
زاوية الدوران حول المحور الصادي (R_y) = ١١.٢١٦" ± ١.٥٧"
زاوية الدوران حول المحور الرأسي (R_z) = -٦.٤١٣" ± ١.٨٤".

[8] المرجع: بحث للدكتور أحمد شاكر و آخرون بعنوان: Remove-Restore Technique for Improving The Datum Transformation Process منشور في المؤتمر الدولي للاتحاد العالمي للمساحة FIG بهونج كونج في الفترة ١٣-١٧ مايو ٢٠٠٧م

[9] يمكن الحصول علي نسخة كاملة من البحث من موقع المؤتمر في:
http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_3b/ts03b_03_saad_etal_1218.pdf

ملحق رقم ٤

المرجع و نظام الإحداثيات للمملكة العربية السعودية

المصدر: مجلة الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد ASPRS ، عدد أغسطس ٢٠٠٨ ، صفحة ٩٤٩-٩٥١.

سلسلة عمود: المراجع و نظم الإحداثيات للكاتب كليفورد موجنير Clifford J. Mugnier,

يعود تاريخ أول أثر لوجود الإنسان في الجزيرة العربية إلي ١٥٠٠٠ إلي ٢٠٠٠٠ عام. وكما ذاب الجليد في أوروبا خلال العصر الجليدي منذ ١٥٠٠٠ عام ، فأن المناخ في الجزيرة العربية أصبح جافا ، و تكونت سهول واسعة مغطاة بالحشائش واختفت الحيوانات المتوحشة. أيضا اختفت الأنهار تاركة وراؤها بعض الآثار (الأودية) التي توجد في الجزيرة العربية الآن. وأجبر هذا التغير المناخي الناس علي اللجوء إلي الأودية والواحات ، ولم يعد الصيد هو المجال الأساسي واضطروا لابتكار وسائل أخري للحياة. وكنتيجة لذلك فقد بدأت الزراعة تتطور في بلاد الرافدين و وادي نهر النيل ثم بدأت في الانتشار في الشرق الأوسط. وأدت هذه التطورات لظهور الحضارات والنظم السياسية. ولوقوعها بين أعظم مركزين للحضارة في وادي النيل و بلاد الرافدين ، فقد كانت الجزيرة العربية هي الممرات التجارية للعالم القديم. وكانت التجارة أساسية لتنمية هذه المنطقة وتكونت شرايين المواصلات بين المناطق المتباعدة في الجزيرة العربية. وكون أهل الجزيرة العربية شبكة كبيرة من الطرق التجارية لنقل البضائع الزراعية في كل حوض البحر الأبيض المتوسط. وشملت البضائع التجارية تمر الطائف وبخور وصمغ من هضبة تهامة ، بالإضافة للتوابل. وكانت البضائع تأتي من الهند خلال بحر العرب ثم تنقل بالقوافل التي تسافر من ما يعرف الآن بعمان واليمن وتمر من خلال منطقة عسير في المملكة ومنها إلي مكة المكرمة والمدينة المنورة وهما المركزين الحضريين في الشمال و الغرب. ولم يتأثر سكان الجزيرة العربية بالتطورات والاضطرابات السياسية التي حدثت في وادي النيل و حوض البحر الأبيض المتوسط، فقد كانت بضائعهم و خدماتهم مطلوبة جدا مهما كان النظام السياسي الحالي في مصر و بابل وروما. كما أن الامتداد الصحراوي للجزيرة العربية صنع أيضا عائق طبيعي يحمي الجزيرة العربية من الغزو الخارجي للقوي المجاورة[١٠].

تمتد حدود المملكة مع العراق (٨١٤ كيلومتر) و الأردن (٧٢٨ كيلومتر)[١١] والكويت (٢٢٢ كيلومتر) و عمان (٦٧٦ كيلومتر) [١٢]و قطر (٦٠ كيلومتر)[١٣] و الإمارات العربية المتحدة (٤٥٧ كيلومتر) [١٤]و اليمن (١٤٥٨ كيلومتر)[١٥]. وتبلغ أطوال شواطئ المملكة ٢٦٤٠ كيلومتر ، وتقع أوطي نقطة عند الخليج الفارسي (صفر متر) – مع أنهم يفضلون أن يسمونه الخليج العربي - وأعلي نقطة في جبل سودة (٣١٣٣ متر). وبالإشارة للمعاهدات الدولية للحدود مع المملكة ، فأن الحدود موثقة مع كلا من الأردن و الإمارات و العراق وعمان. وقد تم توقيع معاهدة حدود بحرية مع كلا من إيران و البحرين. وفي كلتا الحالتين فقد تم إرساء مبدأ المسافات المتساوية[١٦].

في بداية القرن العشرين الميلادي قامت هيئة المساحة الهندية – التي كانت خاضعة للحكم البريطاني – بمد بعض شبكات مثلثاتها خلال الجزيرة العربية "كما قرأت حديثا[١٧]". **وفي عام ١٩١٠م نشر مكتب الحرب البريطاني خرائط طبوغرافية للجزيرة العربية** في ٤ لوحات بحيث تمثل البوصة ٣٢ ميل (أي تقريبا مقياس رسم ١ : ٢,٠٠٠,٠٠٠). كما أنتجت الإدارة البريطانية للمساحة العسكرية خرائط بمقياس رسم ١ : ٢٥٣,٤٤٠ (البوصة تمثل ٤ أميال)

---

[10] المرجع: سفارة المملكة العربية السعودية ٢٠٠٨م

[11] المرجع: مجلة المساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد ، ديسمبر ٢٠٠٦

[12] المرجع: مجلة المساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد ، مارس ٢٠٠٧

[13] المرجع: مجلة المساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد ، يناير ٢٠٠٨

[14] المرجع: مجلة المساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد ، فبراير ٢٠٠١

[15] المرجع: مجلة المساحة التصويرية و الاستشعار عن بعد ، أغسطس ٢٠٠٣

[16] المرجع: إدارة الجغرافيا بوزارة الخارجية الأمريكية

[17] كما يقول المؤلف الأصلي

للبحر الأحمر من أعمال مساحية تمت في الفترة ١٩١٥-١٩١٧م[18]. وفي عام ١٩٣٣م أعطت المملكة أول امتياز للبحث عن النفط إلي الشركة الأمريكية أسو وتكونت الشركة السعودية-الأمريكية المعروفة باسم **أرامكو**.

بدأ أول مسح جيوديسي مهم لشركة أرامكو في فترة الثلاثينات من القرن العشرين الميلادي. كان المرجع الرئيسي هو أم الرس عند النقطة رقم ٥٠٦ حيث كانت الإحداثيات: دائرة العرض (Φ_o) = ٠٤" ١٩' ٢٦° شمالا ، خط الطول (Λ_o) = ٥٠" ٠٧' ٥٠° شرق جرينتش ، وكان الانحراف الفلكي الأساسي (α_o) إلي نقطة رقم ٥١١ ميردا الجنوبية = ٣٢.٦٤" ٣٤' ٨٢° من الجنوب. وكان الاليبسويد المستخدم هو **كلارك ١٨٦٦م** حيث: نصف المحور الأكبر (a) = ٦٣٧٨٢٠٦.٤ متر والتفلطح (1/f) = ٢٩٤.٩٧٨٦٩٨٢ ، والمنسوب = ١٤٩.٧ (الوحدات مجهولة). وتم استخدام نظام الإحداثيات المتبع في أرامكو وهو نظام شرائح ميريكاتور المستعرض حيث: كل شريحة مكونة من حزام ٢° مع خطوط طول رئيسية (λ_o) تتراوح بين ٣٧° شرق إلي ٥٥° شرق ، معامل القياس (Scale factor) عند المركز (m_o) = ٠.٩٩٩٩ ، الاحداثي الشرقي الكاذب = ١٥٠ كيلومتر ، الاحداثي الشمالي الكاذب = ١٠٠ كيلومتر عند دائرة عرض المركز = ١٢° شمالا. وطبقا للسيد جون هاجر "علي ما أعتقد فأن العمل المساحي لأرامكو بدأ من جنوب الحدود السعودية-الكويتية إلي الحدود السعودية-القطرية ، كان العمل مكون من عدة أقواس لكن لم يتم ضبطهم معا كشبكة موحدة".

مرة أخري شكرا للسيد هاجر الذي قال: "**في عام ١٩٥٤م** كان هناك عمل مساحي شوران[19] في شمال المملكة باسم كارمن أجرته شركة المسح الجوي العالمية (كانت شركة مشتركة بين كلا من شركة الخدمات الجوية و شركة المسح الجوي وكانت هذا الاتحاد بين الشركتين لتنفيذ المشروعات الكبيرة). كان الهدف هو توفير صور جوية للخرائط من مقياس ١ : ٢٥٠,٠٠٠. ومن خبرتي من عمل مماثل في إيران ، أستطيع أن أقدر أن شبكة المثلثات مرصودة الأضلاع[20] تستطيع تحديد إحداثيات نقاط الثوابت الأرضية بدقة أحسن من ١٠ أمتار ودقة ٥٠ متر لنقاط الصور الجوية. كانت الحدود بين المملكة العربية السعودية و الكويت وأيضا الحدود السعودية الإيرانية متنازع عليها ونتيجة لذلك كانت هناك منطقتين محايدتين. وفي النهاية اجتمعت كل المجموعات لحل المشكلة وكانت أحدي النتائج أن إحداثيات نقطة عين العبد: دائرة العرض (Φ) = ٠٦.١٧١" ١٤' ٢٨° شمالا ، خط الطول (λ) = ٢٠.٩٠٦" ١٦' ٤٨° شرقا.

وطبقا للسيد هاجر أنه كان هناك مرجع آخر **(<u>مرجع سلوا</u>)** عند نقطة أرامكو رقم ٩١٥ حيث: دائرة العرض (Φ_o) = ٠٦.٢٧٠" ٤٤' ٢٤° شمالا ، خط الطول (Λ_o) = ٠٨.٣٨١" ٤٨' ٥٠° شرق جرينتش وكان الانحراف الفلكي الأساسي (α_o) إلي نقطة مجهولة = ٢٤.٤٥٦" ٠٥' ٣٥١°. وكان الاليبسويد المستخدم أيضا هو كلارك ١٨٦٦م ، والمنسوب = ٥.٧٢٩٥ (الوحدات مجهولة) عند نقطة خور الدوان. وأستمر السيد هاجر وأضاف: حوالي **<u>عام ١٩٥٧م</u>** قامت شركة الخدمات الجوية بعمل مثلثات مرصودة الأضلاع باستخدام جهاز تيلرومتر وبدأت الشبكة من الشاطئ عند دائرة عرض ٢٧° جنوب حصن تاروت و رأس طنارة. وفي الموسم التالي استمرت الشبكة جنوبا بهدف إقامة الحدود السعودية البحرينية. وكان هذا الجزء به مشاكل في قراءات الجهاز وربما بسبب أن بعض الخطوط كانت تعبر مياه. وبمساعدة من

[18] المرجع: الخرائط الأجنبية ، تقرير رقم TM-5-248 ، ١٩٦٣م

[19] المترجم لا يعرف هل هذا اسم أم كلمة SHORAN

[20] أقرب ترجمة لنوع المثلثات Trialateration هو المثلثات مرصودة الأضلاع

شركة تيلرومتر (المنتجة للجهاز) استطاعت وكالة الخرائط العسكرية حل بعض المشاكل و الوصول لنتائج مقبولة.

مرة أخري شكرا للسيد هاجر: " **مرجع عين العبد (١٩٦٤م)** عند نقطة "أ" عين العبد كان: دائرة العرض (Φ_o) = ٠٦.٩٦٨" ١٤' ٢٨° شمالا ، خط الطول (Λ_o) = ٢٧.٨٦٨" ١٦' ٤٨° شرق جرينتش وكان الانحراف الفلكي الأساسي من الشمال (α_o) إلي نقطة ١٢٧ = ٣٤.٨٥" ٠٧' ٣٠٧° ± ٠.٠٨". وكان الاليبسويد المستخدم هو **كلارك ١٨٨٠م** ، والمنسوب = ٥٢ متر. تم وصف النقطة بأنها نقطة أرامكو Q أو نقطة 43 AMI-NOLL وتتكون من ماسورة حديدية طولها ٢ بوصة مدفونة في قاعدة خرسانية **وتقع بجوار ينبوع طبيعي أسمه عين العبد**. ونتيجة الخطأ المتوقع للقياسات وأيضا اختيار الاليبسويد فمن الممكن أن نتوقع أن هذه النقطة كانت أساسا نقطة فلكية للبحرية الملكية البريطانية.

في عام ١٩٢٥م أنشأت شريحة الخرائط مكة-مسقط بواسطة قسم الجغرافيا من الجيش البريطاني واستخدمت طوال الحرب العالمية الثانية وكانت معروفة بأنها واحدة من الشرائح البريطانية حيث كان المسقط هو لامبرت المخروطي. كانت دائرة العرض الرئيسية (ϕ_o) = ٤٥° شمالا ، خط الطول المركزي (λ_o) = ٢٣° شرقا ، معامل القياس (Scale factor) عند المركز (m_o) = ٠.٩٩٩٠٧ ، الاحداثي الشرقي الكاذب = ١٠٠٠ كيلومتر ، الاحداثي الشمالي الكاذب = ٦٠٠ كيلومتر. وكان الاليبسويد المستخدم هو **كلارك ١٨٨٠م** حيث: نصف المحور الأكبر (a) = ٦٣٧٨٣٠٠.٧٨ متر والتفلطح (1/f) = ٢٩٣.٤٦٦٣٠٨. وتم إبلاغي من قبل هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية (المعروفة باسم NGA) أن النسخة الحالية من برنامج GeoTrans[٢١] يسمح بالعناصر البريطانية لتحديد شريحة من مسقط لامبرت. ومن كل المصادر العامة المتاحة فمن الممكن القول أن الخرائط العسكرية السرية كلها كانت علي مرجع كلارك ١٨٨٠ مع استخدام شرائح نظام ميريكاتور المستعرض العالمي UTM.

في **١٢ أكتوبر من عام ١٩٦٦م** بدأ أول مسح جيوديسي مكثف للمملكة العربية السعودية بواسطة اتحاد شركات بريطانية و فرنسية و ألمانية ويابانية وسعودية والذين أكملوا رفع مساحي لمساحة ١٥٠٠٠ كيلومتر مربع في خلال ٤٥ شهر. وتم استثناء منطقة الربع الخالي من هذا المسح. وتكونت الشبكة من ٧٠٢ نقطة ترافرس و حوالي ٢٥٠٠ نقطة معلومة المنسوب[٢٢] ، وجميعهم تم تثبيتهم بصفة دائمة في الأرض وتوقيعهم علي صور جوية بمقياس رسم ١ : ٣٠,٠٠٠. وتم رصد جميع الخطوط بمواصفات الدرجة الأولي وميزانيات ثنائية الاتجاه[٢٣]. وكانت ميزانيات جميع الخطوط بمواصفات الدرجة الثانية ما عدا الخطوط التي تربط جدة – الرياض – الظهران – عين العبد التي أستخدم فيها ميزانيات درجة أولي وقياسات جاذبية أرضية نسبية باستخدام جهاز Warden. وكانت خطوط الترافرس و خطوط الميزانيات في نفس الخط كلما سمحت طبوغرافية الأرض وكانت توجد نقاط مشتركة ترصد علي مسافات لا تزيد عن ١٠٠ كيلومتر.أيضا تم تصميم شبكة مثلثات بين النقاط ٤٧ الأساسية وباستخدام ٥ من نقاط الترافرس كخطوط قواعد. تم إنشاء ٦ محطات لقياس المد و الجزر[٢٤]: ٤ علي البحر الأحمر و ٢ علي الخليج العربي. تم أيضا رصد خطين معايرة باستخدام أجهزة

---

[21] برنامج شهير للتحويل بين المراجع تتيحه مجانا هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية علي موقعها في الانترنت
[22] روبير أو BM بلغة الهندسة المساحية
[23] أي ميزانية ذهاب و عودة
[24] هي المحطات المستخدمة لقياس حركة المد و الجزر و تعيين منسوب متوسط سطح البحر

الجيوديميتر Geodimeters بغرض معايرة أجهزة التلرومتر المستخدمة في الترافرس. وككل فقد تم رصد ١٨٩ نقطة أساسية (نقط لابلاس) للتحكم في الانحرافات وحسابات الجيويد.

أن ظروف التشغيل في المملكة لها مميزات متفردة: فحجم المملكة وقلة الموارد في بعض المدن جعلت الدعم اللوجستي لفرق الأعمال الحقلية أمر صعب جدا. وتم استخدام خدمات الخطوط الجوية السعودية لنقل الأفراد و الطعام الطازج وقطع الغيار. وعلي امتداد طول البحر الأحمر توجد شريحة ضيقة مليئة بالسبخات (سطوح ملحية) وخلفها تقع سلسلة جبال الحجاز وعسير حيث تتراوح المناسيب بين ١٠٠٠ و ٣٠٠٠ متر. شرق هذه الجبال توجد صخور و حمم بركانية تتدفق تدريجيا غربا لتغوص تحت الرمال. والي الشرق توجد جروف رسوبية أضخمها هو جرف طوالق المكون من الحجر الجيري. تغوص هذه الجروف تحت رمال الربع الخالي والنفود الكبير والذي يعطي صورة تقليدية للصحراء مع قباب رملية طولية بلون برتقالي شديد. أما بجوار الخليج العربي فتوجد تلال رملية تنحدر تدريجيا نحو السبخات علي السواحل. وفي هذه المعوقات فقد أقيمت شبكة من الطرق الإسفلتية بمعدل ١٠٠٠ كيلومتر سنويا ، لكن بضعة آلاف فقط من هذه الكيلومترات قد أقيمت أثناء فترة المسح الأرضي. يعد الطقس قارصا و صعبا لكنه ليس كريها بشدة. شهور الصيف حارة فعلا وللأسف فأن رهيق الشمس غير مناسب لإجراء قياسات جيوديسية. أبضا من الممكن أن يكون الشتاء باردا جدا مع بعض الصقيع في الصباح الباكر، وأيضا ثلوج في بعض الحالات. في فصلي الخريف و الربيع تجلب العواصف الأمطار والفيضانات. في نوفمبر من عام ١٩٦٧م كانت الأمطار كبيرة جدا في كل أنحاء الدولة وسببت توقف عمل جميع الفرق الحقلية. في كل الأحوال فأن الرياح قوية وصيفا توجد تيارات الهواء الساخن وشتاءا البرد شديد ، وعندما تهب العواصف الرملية تأخذ الخيام في طريقها بل أنها من الممكن أن تقلب برجا. تتقلب الحرارة موسميا بدرجة كبير جدا ومن الممكن أن يزيل الشخص طبقات من الملابس كلما تقدم الصباح تدريجيا[٢٥].

وفي موضع آخر من المقال السابق في صفحة ٢٧٣ يقول كاتب هذا المقال أن لديه رأي حول السؤال المثار عن الاليبسويد المستخدم في **مرجع عين العبد ١٩٧٠** حيث يقول: "إن الحسابات الأولية لشبكة الترافرس تمت علي المرجع الأوروبي المحدد بالإحداثيات الجغرافية للنقطة HIRAN2 عند عين العبد بالقرب من المنطقة الحدودية المحايدة مع الكويت. ولم يتم تحديد الفروق[٢٦] ، وتم حساب الارتفاعات المثلثية[٢٧] وضبطها إلي شبكة الميزانيات عند كل النقاط المشتركة. وتم اختزال (أو إسقاط) المسافات أولا إلي منسوب سطح البحر ثم لاحقا إلي الاليبسويد. وتم حساب قيم أولية للإحداثيات الجيوديسية لنقاط الترافرس - دون ضبط للانحرافات أو خطأ القفل - باستخدام معادلة جاوس الممتدة للعنصر الخامس". وفي صفحة ٢٧٤ يضيق مؤلف المقال المشار إليه إلي: "في المرحلة الأولي توقعنا أن الفروق بين اليبسويد المرجع الأوروبي و الجيويد في السعودية لن تكون كبيرة. وتم الاتفاق علي أن عملية الضبط ستتم علي المرجع الأوروبي ثم يتم تحويل الإحداثيات المضبوطة إلي مرجع **"أنسب ما يكون"** للالبسويد ومناسب للسعودية باستخدام الطريقة المقدمة من Weightmanin في مجلة Bulletin Géodésique[28] عدد رقم ٨٥ في عام ١٩٦٧م. تراوحت الفروق بين الاليبسويد و الجيويد من – ٦ متر إلي – ٦٨ متر وتنوعت مركبات فروق الانحراف عن الرأسي من ٣٢" للمركبة الأولي و ٤٥" للمركبة الثانية.

[25] المرجع: مجلة المساح المتنقل ، موضوع: المسح الجيوديسي للسعودية ، عدد ديسمبر ١٩٧٠

[26] أي بين الجيويد و الالبسويد

[27] أي الناتجة من قياسات الترافرس وليس من ميزانيات

[28] أشهر مجلة علمية دولية في مجال المساحة الجيوديسية

وجدت ٣ تعريفات للمرجع "الأنسب" لتقليل أحد أو كلا نوعي الفروق. وتم اعتبار أن تقليل فروق الاليبسويد-الجيويد هو الأنسب و الأفيد ، وبتقليل هذه الفروق فأن أخطاء المقياس أيضا ستقل. **وكان المرجع "الأنسب" الناتج هو ما تم تسميته مرجع عين العبد ١٩٧٠.** علما بأن أي محاولة لإعادة ضبط إحداثيات المرجع الأوروبي في هذه المنطقة ستؤثر علي العلاقة بين هذين المرجعين لكنها لن تؤثر علي الإحداثيات النهائية. **وكان الاليبسويد المستخدم في مرجع عين العبد ١٩٧٠ هو الاليبسويد العالمي ١٩٢٤** حيث: نصف المحور الأكبر (a) = ٦٣٧٨٣٨٨ متر والتفلطح (1/f) = ٢٩٧.

في عام ١٩٩٥م طور أنطوني كافيل شبكة جديدة لنظام ميريكاتور المائل للمملكة العربية السعودية. كانت عناصر هذا النظام: دائرة العرض الرئيسية (ϕ_o) =٣٠' ٢٢° شمالا ، معامل القياس (Scale factor) عند المركز (k_o) = ٠.٩٩٩١٩ ، الخط المركزي بين نقطة (ϕ_1 = ١٧° شمالا ، λ_1 = ٥١° شرقا) و نقطة (ϕ_2 = ٣١° شمالا ، λ_2 = ٣٦° شرقا) ، الاحداثي الشرقي الكاذب = ٤٠٠٠ كيلومتر ، الاحداثي الشمالي الكاذب = ٥٠٠ كيلومتر. وكان الاليبسويد المستخدم هو WGS84 حيث: نصف المحور الأكبر (a) = ٦٣٧٨١٣٧ متر والتفلطح (1/f) = ٢٩٨.٢٥٧٢٢٣٥٦٣. يمكن اختبار هذا النظام بالنقطة التالية: إذا كانت دائرة العرض ϕ = ١٦° شمالا و خط الطول λ = ٤٣° شرقا ، فأن الاحداثي الشرقي X = ١٤٥٥٥٩٦.٤٠٩ متر و الاحداثي الشمالي Y = ٢١٦٢١٠٢.٨٥٣ متر.

طبقا للتقرير الفني رقم TR8350.2 **لوكالة المساحة العسكرية الأمريكية**[٢٩] فأن **عناصر التحويل من مرجع عين العبد ١٩٧٠ إلي النظام الجيوديسي العالمي لعام ١٩٨٤م (المعروف اختصارا باسم WGS84):**

فرق الاحداثي السيني ΔX = -١٤٣ متر ± ١٠ متر ، فرق الاحداثي الصاديΔY = -٢٣٦ متر ± ١٠ متر ، وفرق الاحداثي الرأسي ΔZ = ٧ متر ± ١٠ متر.

وهذه القيم بناءا علي استخدام ٩ نقاط في الحسابات وتم نشرها في عام ١٩٩١م.

[29] يمكن الحصول علي نسخة منه من الرابط: http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html

ملحق رقم ٥

تشغيل برامج GeoTrans لتحويل الإحداثيات

برنامج GeoTrans هو برنامج (مجاني) طورته هيئة المساحة العسكرية الأمريكية NIMA لتحويل الإحداثيات بين المراجع Datums ونظم الإحداثيات المختلفة.

يوجد إصدارين من البرنامج (الإصدار ٢.٤ والإصدار الحديث ٣.٢) وكلاهما مجاني ويمكن تحميله بسهولة. مع أن الإصدار الحديث به إمكانيات جديدة إلا أن به مشكلتين: (١) أمر إنشاء مرجع جديد Create Datum لا يعمل ! (٢) المرجع الوطني لمصر مذكور أنه Clark 1880 وهذا خطأ حيث أن المرجع المصري هو Helmert 1906 (مذكور صحيحا في الإصدار القديم ٢.٤ من البرنامج). من لا يحتاج هاتين النقطتين يمكنه استخدام الإصدار الحديث مع أن حجمه كبير نسبيا عند التحميل من موقع هيئة المساحة العسكرية الأمريكية (١٧٢ ميجا بايت بينما الإصدار القديم كان حجمه ١٧ ميجا بايت فقط).

الإصدار ٢.٤.١:
رابط الصفحة الرئيسية للبرنامج (الإصدار ٢.٤) في:

ftp://www.daba.lv/pub/TIS/koordinatas/GEOTRANS/2.4.1/GeoTrans.html

يمكن تحميل البرنامج (الإصدار ٢.٤.١ الصادر في ٣٠ مايو ٢٠٠٧م وحجمه ١٥ ميجا) من الرابط:

ftp://www.daba.lv/pub/TIS/koordinatas/GEOTRANS/2.4.1/master.zip

الإصدار ٣.٢:
رابط الصفحة الرئيسية للبرنامج (الإصدار ٣.٢) في:

http://earth-info.nga.mil/GandG/geotrans/

يمكن تحميل البرنامج (الإصدار ٣.٢ الصادر في ١٣ فبراير ٢٠١٢م وحجمه ١٧٢ ميجا) من الرابط:

http://earth-info.nga.mil/GandG/geotrans/geotrans3.2/install.exe

كما يمكن تحميل شرح مبسط لتحميل install البرنامج من:

http://earth-info.nga.mil/GandG/geotrans/docs/Windows_Self_Installation.pdf

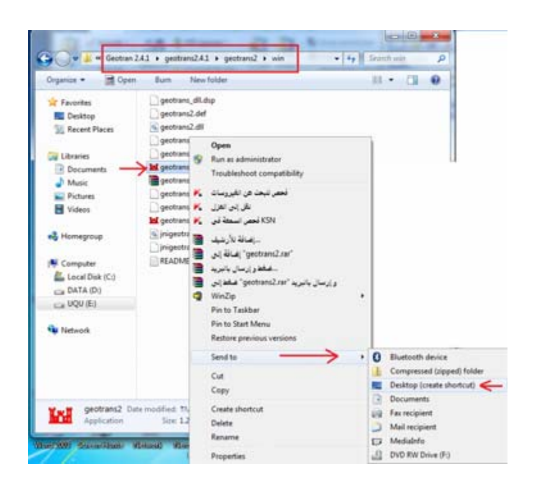
و لتحميل البرنامج علي كمبيوتر يعمل بنظام ٦٤ بت، أنظر الشرح في:

http://earth-info.nga.mil/GandG/geotrans/docs/Run_Geotrans_in_Windows_64bit.pdf

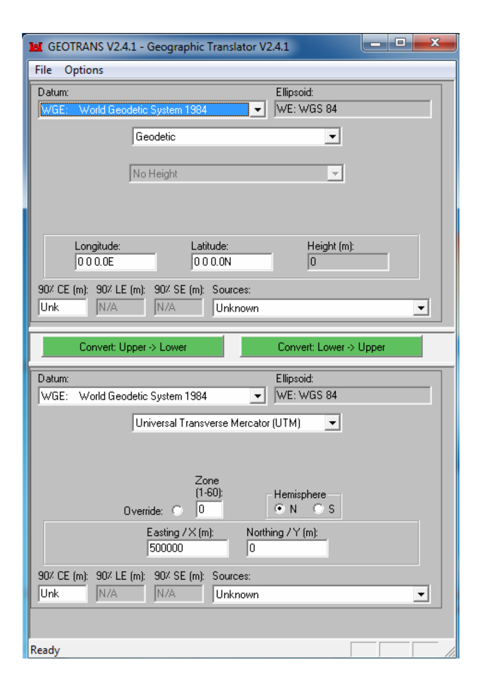
تشغيل الوظائف الأساسية للبرنامج (كلا الإصدارين):

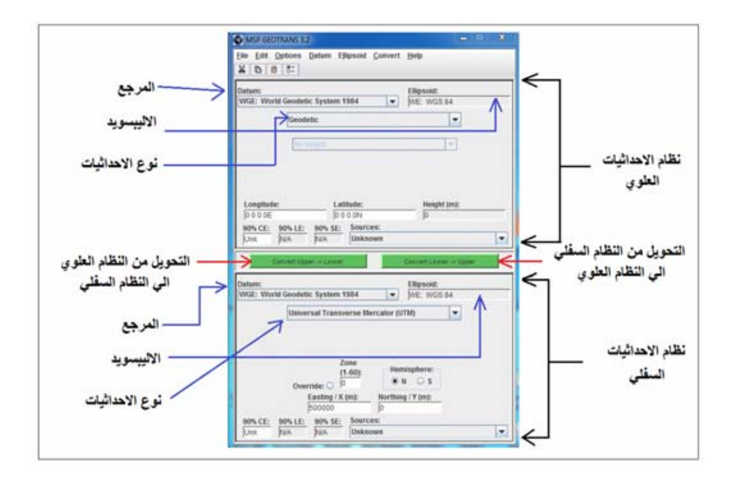
للإصدار الحديث ٣.٢: بعد تحميل الملف الرئيسي install.exe والضغط عليه مرتين (دوبل كليك) سيبدأ تحميل البرنامج setup علي جهاز الكمبيوتر وفي نهاية الخطوات سيكون هناك برنامج أسمه MSP_Geotrans3 في قائمة ابدأ start ومنه يمكن تشغيل البرنامج.

أما الإصدار القديم ٢.٤.١: قم بفك الضغط عن الملف المضغوط الذي تم تحميله فينتج مجلد أسمه geotrans2.4.1 بداخله ٤ مجلدات فرعية أحدهما أسمه geotrans2 والذي يوجد بداخله ١٠ مجلدات فرعية أحدهم هو مجلد win والذي يوجد بداخله الملف التنفيذي geotrans2.exe الذي سيقوم بتشغيل البرنامج عند الضغط عليه مرتين. يمكن إنشاء اختصار shortcut لهذا الملف علي سطح الكمبيوتر لسهولة تشغيل البرنامج كل مرة:



شاشة البرنامج (الإصدار ٢.٤.١ هي نفس شاشة الإصدار ٣.٢ بدون تغيير):





الشاشة الرئيسية للبرنامج سهلة الاستخدام حيث هي مقسمة إلي جزأين: نظام الإحداثيات العلوي و نظام الإحداثيات السفلي، وبينهما أيقونتين لتحويل الإحداثيات إما من النظام العلوي إلي النظام السفلي أو العكس. لتحديد كل نظام من النظامين يوجد ٣ أجزاء: نوع الاليبسويد، نوع المرجع، ونوع نظام الإحداثيات.

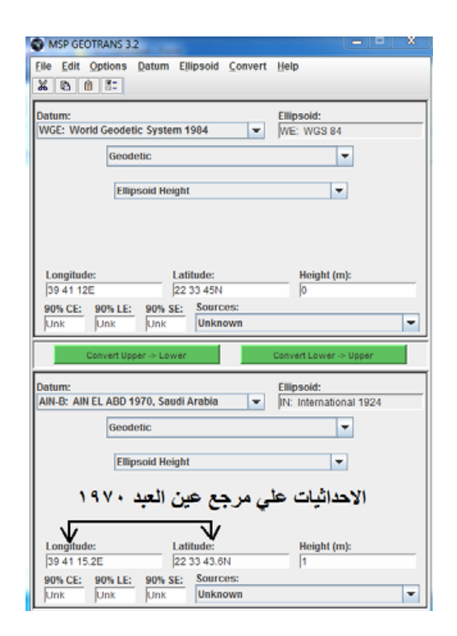
<u>الحالة الأولي: تحويل نفس نوع الإحداثيات علي مرجع مختلف:</u>

نفترض هنا أن لدينا نقطة إحداثياتها علي المرجع العالمي WGS84 (مرجع الجي بي أس) كالتالي: دائرة العرض Latitude = ٤٥" ٣٣' ٢٢° و خط الطول Longitude = ١٢" ٤١' ٣٩° ونريد معرفة إحداثياتها (الجغرافية أيضا) علي مرجع عين العبد ١٩٧٠ (المرجع المحلي السعودي):

في نظام الإحداثيات العلوي سنترك المرجع datum كما هو World Geodetic System 1984 وسنترك الاليبسويد أيضا كما هو W GS84 ونوع الإحداثيات = الإحداثيات الجيوديسية Geodetic. وفي نفس الجزء العلوي من الشاشة سنكتب إحداثيات النقطة المطلوب تحويلها. أما في الجزء السفلي من الشاشة (نظام الإحداثيات السفلي) وأمام أيقونة المرجع Datum سنضغط السهم الصغير الأسود ليتم فتح قائمة بجميع المراجع الوطنية المستخدمة في العالم ومنها سنختار مرجع Ain El Abd 1970, Saudi Arabia. وأمام أيقونة نظام الإحداثيات سنفتح أيضا السهم الصغير الأسود لنختار نوع الإحداثيات الجيوديسية Geodetic:

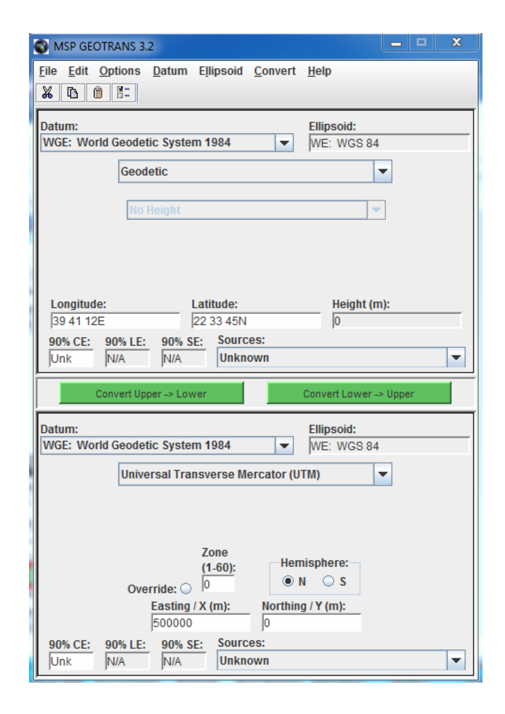


الان سنضغط أيقونة التحويل من نظام الإحداثيات العلوي إلي نظام الإحداثيات السفلي Convert Upper -> Lower لتظهر لنا الإحداثيات المحولة في النظام السفلي: أي أن إحداثيات هذه النقطة علي مرجع عين العبد ١٩٧٠ هي: دائرة العرض Latitude = ٤٣.٦" ٣٣' ٢٢° و خط الطول Longitude = ١٥.٢" ٤١' ٣٩° :

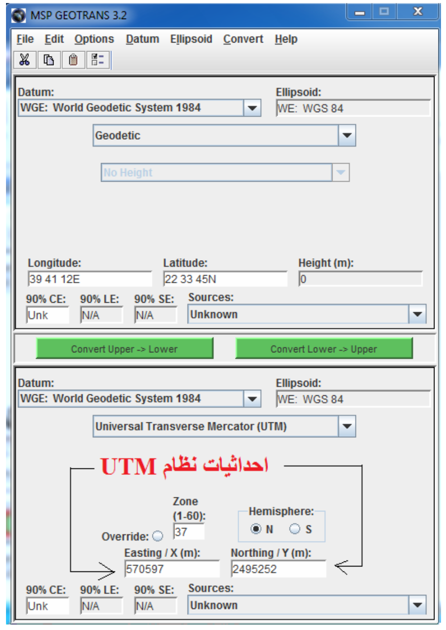


الحالة الثانية: تغيير نوع الإحداثيات علي نفس المرجع:

في المثال الحالي سنغير إحداثيات نفس النقطة السابقة (الإحداثيات الجيوديسية علي مرجع WGS84) إلي إحداثيات مسقطة بنظام UTM علي نفس المرجع أيضا. اذن سنترك نظام الإحداثيات العلوي كما هو، وفي نظام الإحداثيات السفلي سنضغط السهم الصغير أمام نوع الإحداثيات و من القائمة سنختار Universal Transverse Mercator (UTM):



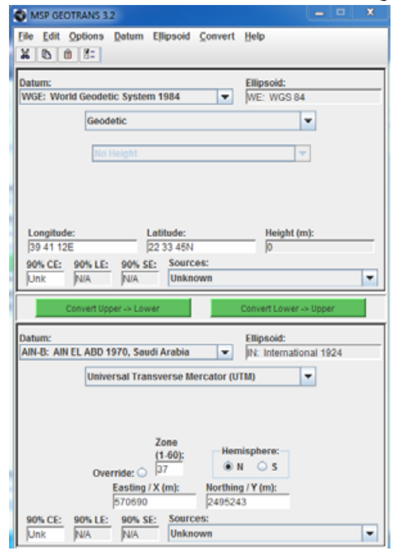
الان سنضغط أيقونة التحويل من نظام الإحداثيات العلوي إلي نظام الإحداثيات السفلي Convert Upper -> Lower لتظهر لنا الإحداثيات المحولة في النظام السفلي: أي أن إحداثيات هذه النقطة في نظام UTM علي مرجع WGS84 هي: الشرقيات X = ٥٧٠٥٩٧ متر و الشماليات Y = ٢٤٩٥٢٥٢ متر:



<u>الحالة الثالثة: تغيير نوع الإحداثيات علي مرجع مختلف:</u>

في المثال الحالي سنغير إحداثيات نفس النقطة السابقة (الإحداثيات الجيوديسية علي مرجع WGS84) إلي إحداثيات مسقطة بنظام UTM علي مرجع عين العبد ١٩٧٠. اذن سنترك نظام الإحداثيات العلوي كما هو، وفي نظام الإحداثيات السفلي سنضغط السهم الصغير أمام نوع الإحداثيات و من القائمة سنختار Universal Transverse Mercator (UTM) وأمام أيقونة المرجع سنختار Ain El Abd 1970, Saudi Arabia.

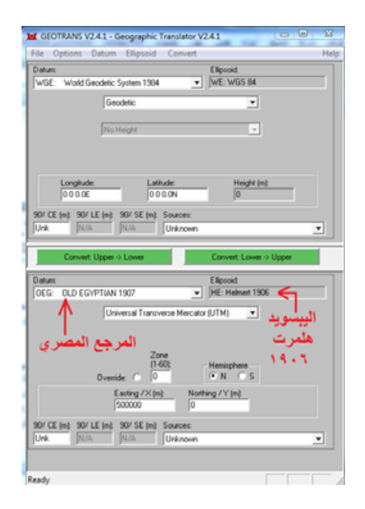
ثم نضغط أيقونة التحويل من نظام الإحداثيات العلوي إلي نظام الإحداثيات السفلي Convert Upper -> Lower لتظهر لنا الإحداثيات المحولة في النظام السفلي: أي أن إحداثيات هذه النقطة في نظام UTM علي مرجع عين العبد ١٩٧٠هي: الشرقيات X = ٥٧٠٦٩٠ متر و الشماليات Y = ٢٤٩٥٢٤٣ متر:



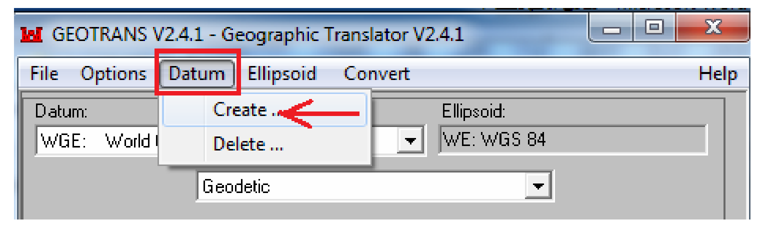
إنشاء مرجع جديد:

هذه الخطوة لا تعمل جيدا في الإصدار الحديث ٣.٢ وسيتم الشرح هنا علي الإصدار القديم ٢.٤.١:

مع أن البرنامج يحتوي في قائمة المراجع Datums المرجع المصري تحت أسم OEG: Old Egyptian 1907 (المبني علي الييسويد هلمرت ١٩٠٦) إلا أنه لا يحتوي نظام الإحداثيات المصرية (الشرائح أو الأحزمة الثلاثة كما في الجزء ٢-٤-٧-١ بصفحة ٣٥).



من شريط الأدوات الرئيسي للبرنامج سنضغط أيقونة المرجع Datum ثم نختار أمر إنشاء Create:



لإنشاء مرجع جديد (هو بالطبع ليس مرجعا جديدا إنما سنخزنه كما لو كان مرجع جديد في البرنامج) نحتاج لتعريف الالييسويد لهذا المرجع ثم تحديد قيم ٣ عناصر التحويل من هذا المرجع إلي المرجع العالمي WGS84.

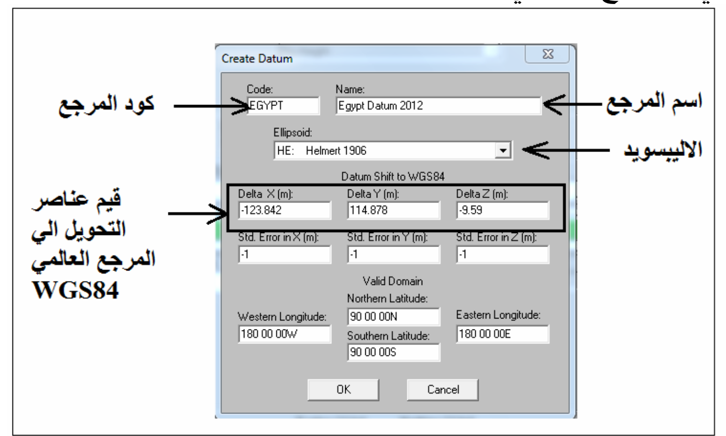
بالنسبة للمرجع الوطني المصري فتوجد قيم لعناصر التحويل السبعة من المرجع العالمي WGS84 إلي المرجع الوطني المصري تم ذكرها في الفصل الثاني (صفحة ٤٤) وهي كالتالي:

$\Delta X = 123.842$ m
$\Delta Y = -114.878$ m
$\Delta Z = 9.590$ m
$Rx = -1.35314''$
$Ry = -1.67408''$
$Rz = 5.24269''$
$s = -5.466$ ppm

لاحظ أن البرنـامج يطلب قيم عناصـر التحويـل للتحويـل إلـي مرجـع WGS84 (ولـيس إلـي المرجع الوطني). وحيث أن العناصر المعلومة لدينا هي من WGS84 الـي المرجـع المصـري فيجب تغيير إشـارة كل عنصر قبل إدخالها لشاشـة البرنـامج. أي أن العناصـر الثلاثـة الأولـي ستصبح:

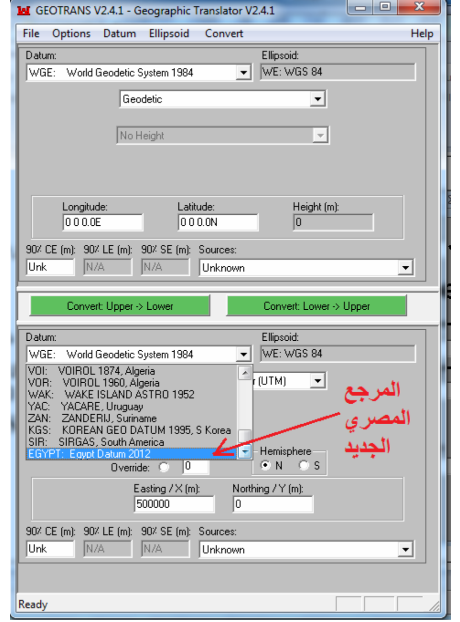
ΔX = -123.842 m
ΔY = +114.878 m
ΔZ = -9.590 m

في نافذة إنشاء المرجع سنعطي اسم للمرجع الجديد (مثلا Egypt Datum 2012) وكذلك كود لهذا المرجع مكون من ٣-٥ أحرف (مثلا Egypt) ثم ندخل قيم عناصر التحويل الثلاثة من هذا المرجع إلي المرجع العالمي WGS84:



ثم نضغط OK.

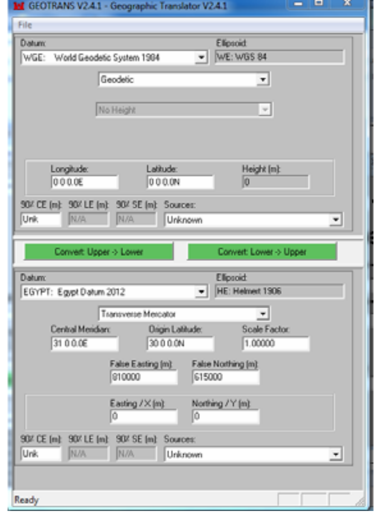
الآن إذا فتحنا قائمة المراجع سنجد المرجع الجديد قد تم إضافته في البرنامج:



في الخطوة الثانية سنختار نوع الإحداثيات المطلوبة علي المرجع الجديد. كما سبق الذكر في الفصل الثاني أن إحداثيات الخرائط المصرية تعتمد علي نظم Transverse Mercator (وليس UTM). من قائمة إحداثيات البرنامج نختار نوع Transverse Mercator ثم نحدد

العناصر الخمسة لنظام الإسقاط المصري (لنأخذ مثلا الحزام الأحمر الذي يغطي وادي النيل و الدلتا: أنظر صفحة ٣٦) وهي كالآتي:

الاحداثي الشرقي المفترض False Easting = 615 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض False Northing = 810 000 m
دائرة العرض Latitude = 30^{o} 0' 0"
خط الطول Longitude = 31^{o} 0' 0"
معامل مقياس الرسم Scale on central Meridian = 1.00
عرض المنطقة Zone width = 4^{o} 0' 0"

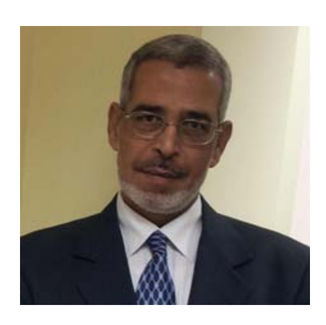


إذا أردنا تحويل إحداثيات نقطة جي بي أس (علي المرجع العالمي WGS84) إلي إحداثياتها المسقطة علي نظام الخرائط المصرية: نكتب إحداثيات النقطة في نظام الإحداثيات العلوي ثم نضغط أيقونة Convert Upper -> Lower: أي أن النقطة التي إحداثياتها علي مرجع WGS84 (الجي بي أس) التي لها إحداثيات جغرافية: دائرة العرض Latitude = ٤٥.٨" ١٧' ٣٠° و خط الطول Longitude = ٢٥.٥" ١٢' ٣١° ستكون إحداثياتها المسقطة في نظام الخرائط المصرية: الشرقيات X = ٨٢٩٧٥٩ متر والشماليات Y = ٦٤٧٨٢٠ متر:



بهذه الطريقة يمكن إنشاء أي مرجع جديد (لأي دولة) إن لم يكن مرجعها موجود في برنامج GeoTrans. تكون العناصر المطلوبة هي: ٥ عناصر تعريف نظام الإسقاط + ٣ عناصر تحويل من هذا المرجع إلي المرجع العالمي WGS84.

نبذة عن المؤلف



الدكتور جمعة محمد داود من مواليد السويس بجمهورية مصر العربية في عام ١٩٦٢م (الموافق ١٣٨٣ هـ). حصل علي درجة البكالوريوس في الهندسة المساحية في عام ١٩٨٥م من كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها بمصر ، ودرجة الماجستير من قسم العلوم الجيوديسية والمساحة من جامعة ولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٩١م، ودرجة الدكتوراه في عام ١٩٩٨م من كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها بمصر.

يعمل د. جمعة داود منذ عام ١٩٨٧م بمعهد بحوث المساحة بوزارة الموارد المائية والري بمصر، ويعمل أيضا منذ عام ٢٠٠٥م بجامعة أم القرى بمكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية. حصل د. جمعة داود علي درجة أستاذ مشارك في عام ٢٠٠٤م وكذلك درجة الأستاذية في الهندسة المساحية في عام ٢٠٠٩م.

فاز د. جمعة داود بجائزة أفضل بحث في المساحة في مصر في أعوام ٢٠٠٥، ٢٠٠٦، ٢٠٠٧، ٢٠٠٩م كما تم اختياره في الموسوعة الدولية للعلوم والهندسة Who is Who للفترة ٢٠١١-٢٠١٢م.

نشر د. جمعة داود حتى الآن خمسة وأربعين بحثا في الهندسة المساحية منهم أثنتا عشر ورقة علمية في مجلات عالمية و مؤتمرات دولية في كل من الولايات المتحدة الأمريكية و انجلترا و ايطاليا و استراليا بالإضافة للنشر في مجلات و مؤتمرات في كلا من المملكة العربية السعودية و مملكة البحرين والمملكة المغربية و جمهورية مصر العربية.

د. جمعة داود متزوج من د. هدي فيصل الباحثة بمعهد بحوث المساحة وله ثلاثة أبناء مصطفي و محمد بكلية الهندسة بجامعة القاهرة و سلمي بالصف السادس الابتدائي.

حج د. جمعة داود بيت الله الحرام أربعة مرات وأعتمر عدة مرات.